



Inspeções periódicas em equipamento para trabalhos em tensão (TET) Ensaaios Dielétricos

Nuno Miguel Almeida Soares

Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: Prof. Dr. António Carlos Sepúlveda Machado e Moura

18 de Julho de 2013

Resumo

A construção do Laboratório de Alta Tensão da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto foi efetuada, em parte, com o propósito de apoiar a indústria. Tendo em conta esse propósito verificou-se que as características do equipamento existente no LAT poderiam proporcionar a realização de inspeções periódicas a equipamento de Trabalho em Tensão

A aposta na realização destas inspeções surgiu uma vez que, atualmente, os trabalhos em tensão são utilizados em primeiro plano para as intervenções nas linhas elétricas. Só no caso de impossibilidade técnica de realização os TET é que as intervenções são feitas na ausência de tensão.

Desta forma, a presente dissertação tem como objetivo criar as condições necessárias no LAT, tanto a nível técnico como a nível prático, isto é, foi realizado um estudo relativo à utilização prática dos equipamentos, bem como uma análise das normas que regem as inspeções dos equipamentos em causa e sua realização.

De salientar que outro dos objetivos deste trabalho passou pelo acompanhamento e intervenção na montagem e colocação em serviço dos equipamentos existentes no LAT.

Abstract

The assembly of the High Voltage Laboratory of FEUP had the main purpose of providing support to the industry. Taking that into account, it was possible to conclude that the characteristics of the existing equipment in the referred laboratory could easily be a good tool to make periodic inspections to the Live Working equipment.

The decision to invest in this kind of inspections was made, since nowadays the maintenance made in the electrical lines are under voltage. Only in few cases, where it's technically impossible to perform interventions under voltage, they are made without voltage.

So, the main goal of the following dissertation is to create the necessary conditions in the laboratory, both technically and practically, in other words, it is necessary to do research about the utilization of the equipment's as it's necessary to analyze the standards that rule the equipment's periodic inspections.

It's also important to highlight that other objective of this work was to follow and intervene in the assembly and installation of the equipment on the laboratory.

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meu orientador, o Professor Doutor António Machado e Moura, por este privilégio que foi trabalhar no LAT e pelos seus conselhos cruciais que permitiram que este trabalho chegasse a bom porto.

Ao Eng.º Jorge Vasques de Carvalho, por todos os conhecimentos que transmitiu ao longo deste trabalho.

Agradeço também ao Eng.º Paulo Cabral do IEP, ao Eng.º Rui Martins e à sua equipa da LABELEC S.A., ao Eng.º Fernando Nunes da Eurico Ferreira S.A. e por fim ao Eng.º Mário Lameiras da Bragalux S.A., pela sua disponibilidade em proporcionarem os meios e conhecimentos que me permitiram realizar este trabalho.

Aos meus amigos, Pedro Silva, Miguel Correia, Rui Costa, Ruben Guedes, Luís Afonso, Zé e Carlos Queirós a quem quero deixar o meu sincero obrigado pela vossa amizade, ajuda e pelos momentos de alegria que partilhamos ao longo desta jornada.

Aos meus pais a quem devo tudo. O meu sincero obrigado, sem o vosso apoio e dedicação nunca teria chegado até aqui.

Ao meu irmão, por toda a ajuda e companheirismo, tal como agradeço à minha cunhada.

Por fim, mas com uma especial importância agradeço à minha namorada, Marina Trovisco por todo o seu amor, apoio, dedicação e por ter sempre acreditado em mim. Sem ela esta etapa da minha vida teria sido quase impossível.

A todos vós, o meu sincero obrigado!

Nuno Miguel Almeida Soares

*“The only source of
knowledge is experience.”*

Albert Einstein

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento e objetivos	1
1.2	Estrutura da dissertação	2
2	Trabalhos em tensão	3
2.1	Aspetos históricos	3
2.2	Habilitações	4
2.3	Equipas	5
2.4	Condicionantes	5
2.4.1	Aspetos técnicos	5
2.4.2	Condições Atmosféricas	7
2.5	Métodos de Trabalho	8
2.5.1	Método á distância	9
2.5.2	Método por contacto	10
2.5.3	Método ao potencial	11
2.5.4	Método global	11
2.6	Situações críticas	12
2.7	Tipos de trabalhos	14
2.8	Resumo	15
3	Equipamento para trabalho em TET	17
3.1	Varas	17
3.1.1	Vara para fixação de condutores	18
3.1.2	Vara de gancho	18
3.1.3	Vara com terminais universais	19
3.1.4	Vara para filaças	20
3.1.5	Vara com grampo	21
3.1.6	Vara corta – cabos	21
3.1.7	Vara corta – filaças	22
3.1.8	Vara porta- chaves	23
3.2	Tirantes	23
3.2.1	Tirante de Grampo	24
3.2.2	Tirante com rolete	24
3.2.3	Tirante de amarração	25
3.2.4	Tirante de amarração simétrico	25
3.3	Protetores	26
3.3.1	Protetores de condutores	27
3.3.2	Protetores de isoladores rígidos	28

3.3.3	Protetores de cadeia de suspensão	29
3.3.4	Protetores de cadeia de amarração	30
3.3.5	Protetores de pinça de amarração	31
3.4	Mantas isolantes	32
3.5	Curto – circuitador em cabo seco	34
3.6	Luvas isolantes	36
3.7	Escadas	37
3.7.1	Escadas de elementos de encaixar	37
3.7.2	Escada isolante com ganchos	37
3.8	Resumo	39
4	Inspecões periódicas	41
4.1	Técnicas de ensaio de Alta tensão	41
4.1.1	Condições atmosféricas	41
4.1.2	Preparação do objeto	43
4.1.3	Tipologia de tensão	44
4.2	Inspecão de Varas e Tirantes	44
4.2.1	Inspecão visual	44
4.2.2	Ensaio dielétricos	46
4.3	Inspecão de Protetores rígidos	48
4.3.1	Inspecão visual	48
4.3.2	Ensaio dielétrico	48
4.4	Inspecão de mantas	50
4.4.1	Inspecão visual	50
4.4.2	Ensaio dielétrico	50
4.5	Inspecão de curto-circuitadores	52
4.5.1	Inspecão visual	52
4.5.2	Ensaio dielétrico	52
4.6	Inspecão de luvas	52
4.6.1	Inspecão visual	52
4.6.2	Ensaio dielétrico	52
4.7	Inspecão de Escadas	54
4.7.1	Inspecão visual	54
4.7.2	Ensaio dielétrico	54
4.8	Resumo	55
5	Laboratório de Alta Tensão – FEUP	57
5.1	Proteção passiva	57
5.1.1	Revestimento interior	58
5.1.2	Barramento	60
5.1.3	Terras de Proteção	62
5.2	Medidas ativas	62
5.3	Equipamentos	64
5.3.1	Equipamento de ensaio à frequência industrial	64
5.3.2	Equipamento de ensaio ao choque	67
5.3.3	Disposição do equipamento	69
5.4	Resumo	70

6	Implementação dos ensaios dielétricos	71
6.1	Calibração do transformador	71
6.1.1	Circuito de ensaio	72
6.1.2	Resultados da Calibração	73
6.2	Ensaio dielétrico de varas isolantes	75
6.3	Ensaio dielétrico em protetores rígidos	78
6.4	Ensaio dielétrico de mantas isolantes	80
6.5	Ensaio dielétrico de luvas isolantes	81
6.6	Ensaio dielétrico escada isolante	83
6.7	Resumo	87
7	Conclusão	89
7.1	Considerações finais	89
7.2	Trabalhos Futuros.	91
A	Tabela com a relação entre as distância entre esferas em função da tensão	93
	Referências	95

Lista de Figuras

2.1	Exemplos de disposição de condutores.[7]	7
2.2	Diferentes métodos utilizados.	8
2.3	Exemplificação de distância mínima.	10
2.4	Exemplificação de distância mínima.	10
2.5	Exemplo de um trabalho realizado ao contacto	11
2.6	Exemplificação da situação crítica nº1	12
2.7	Exemplificação da situação crítica nº2	13
2.8	Exemplificação da situação descrita	13
2.9	Exemplificação da situação referente ao caso nº 3	14
2.10	Diferentes níveis de tensão que permitem a realização dos TET	15
3.1	Aspeto de uma vara para fixação de condutores.[15]	18
3.2	Exemplo de utilização numa montagem em triangulação.[15]	19
3.3	Exemplo de uma vara de gancho.[17]	19
3.4	Imagem da esquerda: gancho fechado. Imagem da direita: gancho aberto.	19
3.5	Exemplo de vara com terminais universais.[18]	20
3.6	Exemplo de vara para filaças. [19]	20
3.7	Exemplo de uma operação de partir um fio de filaça na gola de um isolador.[19]	20
3.8	Exemplo de uma vara com grampo.[20]	21
3.9	Exemplo de um grampo na extremidade da vara.	21
3.10	Exemplo de uma vara corta-cabos.	22
3.11	Exemplo de uma vara com grampo.[22]	22
3.12	Exemplo de uma cabeça de corte de aço.	23
3.13	Exemplo de uma vara porta- chaves e exemplo de utilização para desaperto dos parafusos de um ligador paralelo.[23]	23
3.14	Exemplo de um tirante de grampo[24]	24
3.15	Exemplo de um tirante com rolete.[25]	25
3.16	Composição de um tirante de amarração. [26]	25
3.17	Composição de um tirante de amarração. [27]	26
3.18	Visualização do espaçamento entre a parte sólida e a parte envolvente do isolador/conductor	27
3.19	Exemplo de protetor de condutor.	27
3.20	Visualização dos constituintes do protetor.[29]	28
3.21	Exemplo de protetor de isolador rígido.[30]	28
3.22	Exemplo de intervenção onde existem protetores de isoladores rígidos associados a protetores de condutor.	29
3.23	Exemplo de protetor para cadeia de suspensão.	29
3.24	Exemplo de protetor para cadeia de amarração.	30

3.25	Exemplo de protetor para cadeia de amarração acoplado a protetores de condutor.	31
3.26	Exemplo de protetor de pinça de amarração e de uma pinça de amarração.[33]	31
3.27	Exemplo de protetor de pinça de amarração associado a um protetor de condutor.[33]	32
3.28	Exemplo de uma manta sem fenda.	33
3.29	Exemplo de uma manta com fenda.	33
3.30	Exemplo de um trabalho TET com recurso a mantas isoladoras.	34
3.31	Exemplo de um Curto – circuitador em cabo seco.	34
3.32	Exemplo de ligador.	35
3.33	Tubo de proteção mecânica.	36
3.34	Luvas isolantes.	36
3.35	Elemento isolante de uma escada de elementos de encaixar	38
3.36	Exemplo de uma escada isolante com ganchos.	39
4.1	Gráfico que permite obter a distância mínima D necessária obter para os diferentes níveis de tensão.[41]	43
4.2	Esquema de ensaio para varas e tirantes.[14]	47
4.3	Esquema de ensaio para tirante de amarração.[14]	47
4.4	Exemplo de protetor colocado no condutor.[28]	49
4.5	Exemplo de protetor colocado no condutor.[28]	49
4.6	Exemplo de montagem para ensaio de protetor de isolador rígido.[28]	49
4.7	Esquema de ensaio para mantas isoladoras.[34]	50
4.8	Arranjo para ensaio de luva isolante.[37]	53
4.9	Esquema possível para ensaio de luva isolante.[37]	54
4.10	Esquema de ensaio para escadas isolantes.[38]	55
5.1	Aspeto da parede coberta por chapa.	58
5.2	Ligação da estrutura metálica ao barramento.	58
5.3	Colocação das chapas de zinco de cobertura do chão.	59
5.4	Ligação das chapas de blindagem (parede e chão) ao barramento.	59
5.5	Aspeto do portão e janelas isoladas pela grande protetora.	60
5.6	Barramento principal.	60
5.7	Isolador de suporte do barramento.	61
5.8	Barramento superior.	61
5.9	Baixada de ligação entre barramentos.	61
5.10	Figura 5.10a terra principal ; figura 5.10b terra secundária; figura 5.10b terra do PT	62
5.11	Quadro de comando.	63
5.12	Transformador existente no LAT.	64
5.13	Chapa de características do transformador.	65
5.14	Divisor de tensão.	65
5.15	Figura 5.15a o regulador; figura 5.15b o aparelho de comando.	66
5.16	Aspeto da montagem das esferas de calibração.	66
5.17	Aspeto da torre de choque.	67
5.18	Divisor de tensão do gerador de choque.	68
5.19	Unidade de alimentação.	68
5.20	Unidade de comando e DIAS.	69
5.21	Disposição do equipamento no LAT-FEUP.	69
6.1	Exemplo da medição da distância entre esferas.	72
6.2	Esquema de ensaio realizado para a verificação da calibração do transformador.	73

6.3	Aspeto final da estrutura de ensaio.	76
6.4	Aspeto final das ligações dos electrodos.	77
6.5	Imagem térmica do equipamento antes do ensaio.	77
6.6	Protetores sujeitos a ensaio.	78
6.7	Promenor do condutor fora do protetor.	79
6.8	Aspeto da montagem final utilizada para o ensaio dos protetores.	80
6.9	Manta isolante utilizada para validação do ensaio.	80
6.10	Esquema final de ensaio da manta isolante.	81
6.11	Esquema final de ensaio da luva isolante.	82
6.12	Promenor do eléctrodo submerso em água no interior da luva.	83
6.13	Formato dos eléctrodos.	84
6.14	Aplicação dos eléctrodos no equipamento.	84
6.15	Aplicação das terras ao barramento do transformador.	85
6.16	Imagem termográfica obtida antes do ensaio.	85
6.17	Imagem termográfica obtida após o ensaio.	86
A.1	Tabela com a relação entre as distância entre esferas em função da tensão.[42] . .	93

Lista de Tabelas

2.1	Distâncias de segurança	9
3.1	Capacidade de corte para diferentes materiais.	22
3.2	Características físicas de um tirante de grampo	24
3.3	Tipologias de pinças de amarração	31
3.4	Características das diferentes classes de mantas	32
3.5	Características dos cabos curto-circuitadores	35
3.6	Características dos cabos curto-circuitadores	37
3.7	Características das escadas de elementos de encaixar.	38
3.8	Periodicidade em meses das inspeção	39
4.1	Calculo dos coeficientes m e w.	43
4.2	Tensão de ensaio correspondente à classe de isolamento do protetor.	49
4.3	Tensão de ensaio correspondente à classe de isolamento da manta.	51
4.4	Distância entre elétrodos em função classe de isolamento da manta.	51
4.5	Valores de tensão aplicado e corrente de fugas máxima admissível em função da classe de isolamento .[37]	53
4.6	Quantidade de luva não imersa em função da classe de isolamento.	54
6.1	Resultados obtidos do ensaio antes e depois de aplicado os fatores de correção.	74
6.2	Resultados obtidos para o cálculo do desvio percentual.	74
6.3	Resultados obtidos para o cálculo do desvio percentual para o ensaio com as esferas a 6cm de distância.	75
6.4	Resultados obtidos para o cálculo do desvio percentual para o ensaio com as esferas a 5cm de distância.	75
6.5	Resultado dos ensaios para os diferentes patamares.	87

Abreviaturas e Símbolos

A.C.	Corrente Alternada (Alternating Current)
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
DIAS	Sistema digital de análise do impulso
D.C.	Corrente Continua (Direct Current)
EDF	Électricité de France
EDP	Electricidade de Portugal
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
IEC	International Electrotechnical Commission
LAT	Laboratório de Alta Tensão
MT	Média Tensão
PRFV	Fibra de vidro plástico reforçado
R.m.s	Valor eficaz
TET	Trabalhos em Tensão
Un	Tensão nominal

Capítulo 1

Introdução

O presente capítulo apresenta a temática abordada ao longo desta dissertação, bem como a motivação para a sua realização. Na parte final apresenta-se uma breve descrição da estrutura do documento.

1.1 Enquadramento e objetivos

Atualmente, o sector elétrico é pressionado a manter elevados níveis de qualidade de fornecimento de energia elétrica. Desta forma, surgiram os trabalhos em tensão que permitem realizar a manutenção nas linhas elétricas, sem que exista a necessidade de efetuar interrupções do sistema.

Os trabalhos em tensão (TET) são realizados com recurso a equipas de trabalho altamente especializadas, uma vez que se trata de trabalhos onde existe um elevado perigo de morte. Para a realização destes trabalhos é necessário recorrer a ferramentas próprias para operar em tensão. Estes equipamentos estão sujeitos a inspeções, de forma a verificar se as suas características técnicas que garantem a segurança do executante se mantêm intactas.

Com a construção do Laboratório de Alta Tensão na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (LAT), e uma vez que este se encontra vocacionado para o apoio à indústria, tornou-se plausível a criação de condições no LAT para a realização das inspeções periódicas a que os equipamentos de execução dos TET estão sujeitos.

A presente dissertação tem como objetivo criar as condições necessárias para a realização destas inspeções. Numa primeira fase pretende-se contextualizar as características dos diferentes trabalhos em tensão, de forma a existir uma noção clara dos esforços e da importância de uma correta inspeção aos equipamentos utilizados nos TET. Numa segunda fase apresenta-se um levantamento detalhado das características dos equipamentos utilizados nos TET, com incidência nos que são sujeitos a inspeções. Posteriormente, são analisadas as características das inspeções periódicas, isto é, as diferentes análises pelos quais os equipamentos terão de ser sujeitos. No final, é descrito o modo de implementação dos ensaios dielétricos que compõem as inspeções, conforme se poderá verificar ao longo desta dissertação.

De salientar que durante a dissertação foi realizada uma análise técnica do LAT, uma vez que o objetivo secundário, mas não menos importante, da dissertação passou pelo acompanhamento das obras de ampliação do LAT, bem como pela montagem e colocação em serviço de todo o equipamento existente.

1.2 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se estruturada em 7 capítulos, sendo que no presente capítulo é efetuado um enquadramento do tema e apresentada a estrutura dos capítulos seguintes.

No capítulo 2 - trabalhos em tensão - é efetuada uma contextualização sobre o significado dos trabalhos em tensão, onde são explicadas as diferentes técnicas e retratadas as condicionantes existentes neste tipo de trabalhos.

No capítulo 3 - equipamento para trabalho em TET - realiza-se uma descrição técnica dos diferentes equipamentos para trabalho em tensão, nomeadamente os equipamentos que são sujeitos a inspeções periódicas a nível laboratorial. Neste capítulo é também apresentada a periodicidade das inspeções.

No capítulo 4 - inspeções periódicas - é realizada uma análise detalhada das inspeções periódicas, onde são apresentadas as diferentes etapas que compõem as inspeções periódicas nomeadamente a inspeção visual e os ensaios dielétricos.

No capítulo 5 - Laboratório de Alta Tensão – FEUP - é apresentada a estrutura do LAT, sendo dada uma ênfase especial aos aspetos de segurança existentes. Neste capítulo é efetuada também uma descrição do equipamento de ensaio, onde são apresentadas as suas características técnicas e respetivos interesses.

No capítulo 6 - implementação dos ensaios dielétricos - é efetuada a implementação dos ensaios dielétricos no LAT. Em suma, neste capítulo apresentam-se as estruturas/circuitos de ensaio que foram necessárias criar, de forma a respeitar as normas que regem os ensaios dielétricos dos diferentes equipamentos.

Por fim, o capítulo 7 - Conclusão- encerra a presente dissertação sendo apresentadas as conclusões obtidas no desenrolar deste trabalho. Assim como são apresentados sugestões de trabalhos futuros.

Capítulo 2

Trabalhos em tensão

Neste capítulo é abordada a temática dos trabalhos em tensão, sendo explicados os motivos do seu surgimento, os métodos de trabalho, bem como as condicionantes necessárias para os realizar e os principais tipos de trabalho.

2.1 Aspetos históricos

Devido à necessidade crescente da manutenção dos índices de qualidade relativos ao fornecimento de energia elétrica, por parte dos agentes de distribuição, surgiram os trabalhos em tensão. Este tipo de trabalho permite complementar as exigências relativas à melhoria da qualidade de serviço através da realização de trabalhos de reparação, manutenção ou modificação da rede elétrica, sem que seja para tal necessário interromper o fornecimento de energia elétrica.

Os Trabalhos em tensão surgiram no início do século XX, sendo que os primeiros equipamentos surgiram na década de 1910 sendo constituídos por ferramentas fixadas nas extremidades de varas de madeira. [1]

Em Portugal os TET apareceram em 1978, através da EDP (Eletricidade de Portugal). Inicialmente este tipo de trabalhos eram apenas aplicados em redes BT e MT, sendo utilizado o know-how transmitido pela EDF (elétrica francesa). Posteriormente e apenas no ano de 1996 é que esta tecnologia de trabalho passou a ser utilizada para redes de AT. [2]

Atualmente, graças aos trabalhos em tensão e à sua evolução tecnológica, poucas são as situações em que existe a necessidade de colocar uma rede fora de serviço para se realizarem intervenções.

Futuramente, estes trabalhos poderão vir a ser realizados através de equipamentos robotizados e, desta forma, diminuir distâncias de segurança e principalmente evitar riscos elétricos a que os executantes destes trabalhos estão sujeitos, como se poderá ver mais adiante. [3]

2.2 Habilitações

Para a execução dos trabalhos em tensão é necessário que o executante esteja devidamente habilitado, ou seja, o trabalhador deve possuir a competência técnica, adequação humana e aptidão médica para realizar as tarefas abrangidas pela habilitação.

As competências técnicas obtidas pelo trabalhador comportam conhecimentos relativos a [4]:

- Instalações e equipamentos elétricos em que o trabalhador irá atuar;
- Riscos da eletricidade;
- Regras de segurança para prevenir o risco elétrico;
- Procedimentos a adotar em caso de acidente elétrico;
- Medidas de segurança para prevenir outros riscos ligados à sua atividade normal e ao seu habitual ambiente de trabalho.

A habilitação é codificada através de letras maiúsculas e códigos numéricos. A primeira letra indica o nível de tensão em que o titular da habilitação pode intervir [4]:

- B – instalações de BT;
- M – instalações de MT;
- A – instalações de AT;
- H – instalações de MAT.

O índice numérico a seguir à primeira letra indica o grau de intervenção para o qual o titular está habilitado [4]:

- 0 – Trabalhos não elétricos;
- 1 – Eletricistas executantes;
- 2 – Eletricistas que poderão ser designados para chefiar trabalhos.

A letra T indica que o titular pode “trabalhar em tensão”. A seguir à letra T deve(m) ser indicada(s) a(s) letra(s) correspondente(s) ao método de trabalho para o qual o trabalhador está habilitado[4]:

- D – método à distância;
- C – método ao contacto;
- P – método ao potencial;

- G – método global;
- L – indica que o titular pode efetuar trabalhos de limpeza em tensão;
- E – indica que o titular pode conduzir viaturas com equipamentos especiais.

Por exemplo, no caso de um eletricista executante com habilitação para trabalhar em tensão, através do método à distancia para média tensão teria o código de habilitação M1TD.

O título de habilitação tem a validade máxima de três anos, devendo ser revisto nas seguintes situações [4] :

- Transferência com mudança de hierarquia;
- Mudança de função;
- Interrupção da prática dos trabalhos durante um período superior a 6 meses;
- Restrição médica;
- Inaptidão ou inobservância das regras que regem a execução dos trabalhos para os quais o titular está habilitado, nomeadamente em situações em que ocorram acidentes.

2.3 Equipas

As equipas são habitualmente constituídas por 3 elementos para trabalhos em BT, sendo um deles o responsável de trabalhos e os restantes os executantes. Para MT e AT as equipas são formadas, pelo menos, por 6 elementos, dois deles considerados responsáveis pelos trabalhos e os restantes são executantes. O executante, tal como o nome indica, será o elemento responsável pelas manobras. O responsável de trabalhos será responsável pelo cumprimento dos parâmetros exigidos para a intervenção.

2.4 Condicionantes

Para a realização dos trabalhos em tensão é necessário que sejam cumpridos determinados parâmetros, sendo estes divididos em dois grupos. O primeiro grupo engloba aspetos técnicos da rede, o segundo refere-se a condições atmosféricas.

2.4.1 Aspetos técnicos

Os aspetos técnicos estão divididos em dois subgrupos, sendo um deles o regime de exploração da rede e o outro, os aspetos construtivos desta.

Regime de Exploração da rede

Relativamente ao regime de exploração da rede é necessário colocá-la num regime especial que se destina a limitar as consequências de um eventual incidente elétrico na zona, onde se efetua

o trabalho. Com a aplicação deste tipo de regime, o responsável de exploração da rede só pode proceder à reposição da tensão entre as saídas se tiver recebido autorização por parte das equipas de trabalho em tensão que se encontram em trabalhos. São passíveis de existência dois regimes especiais, sendo eles o regime A e B.[5]

No regime de exploração A, a rede fica sujeita às seguintes condicionantes:

- O disparo automático de um disjuntor que proteja a zona de trabalhos, em caso de ocorrência de um defeito nessa zona;
- A impossibilidade de religações automáticas da saída afetada pelo trabalho;
- Alteração para 0 segundos dos tempos de disparo por curto-circuitos fase-fase ou curto-circuitos fase-terra;
- Alteração para 1,5 segundos do tempo de disparo por defeitos resistivos fase-terra.

No regime de exploração B, a rede fica sujeita às seguintes condicionantes:

- O disparo automático de um disjuntor que proteja a zona de trabalhos, em caso de ocorrência de um defeito nessa zona;
- Não existe a possibilidade de religações automáticas das saídas afetadas;
- Alteração para 0 segundos dos tempos de disparo por curto-circuitos fase-fase. A proteção contra curto-circuitos fase-terra é colocada fora de serviço.
- Alteração para 0 segundos o tempo de disparo por defeitos resistivos fase-terra.

A escolha entre regimes especiais de exploração está dependente do tipo de trabalho a realizar na rede, uma vez que o regime B destina-se a operações que consistam em ligar ou separar eletricamente duas saídas alimentadas pelo mesmo transformador de Alta/Média tensão ou Média/Média tensão. Já o regime A é utilizado para as restantes operações com exceção das que conduzem ao estabelecimento ou supressão da ligação entre transformadores indicados no regime B. [5]

Os regimes anteriormente descritos referem-se a regimes para Média Tensão, sendo que no caso de se tratar de uma rede de Alta tensão o regime especial de exploração é restringido a um único, contendo as seguintes características [5]:

- Não existe a possibilidade de religações automáticas das saídas afetadas;
- Alteração para 0 segundos dos tempos de disparo para curto-circuitos fase-fase ou fase-terra.

Aspetos construtivos

No que diz respeito aos aspetos construtivos da rede, os seguintes fatores podem condicionar os trabalhos em tensão [6]:

- **Os ângulos nos traçados**, uma vez que podem limitar a possibilidade de afastar convenientemente os condutores dos apoios.
- **Os vãos** se forem relativamente curtos, limitam os encurtamentos longitudinais nos pontos de amarração, aquando da montagem e desmontagem de cadeias de amarração.
- **Os desnivelamentos**, caso o traçado tenha grandes vãos, os esforços solicitados são mais elevados e desta forma torna-se mais difícil atuar.
- **As acessibilidades**, que podem limitar o acesso do equipamento ao local de trabalho.
- **A disposição dos condutores** podem limitar o acesso do equipamento ao local de trabalho, na figura 2.1 são visíveis alguns casos que permitem os trabalhos e um caso específico em que este é dificultado.

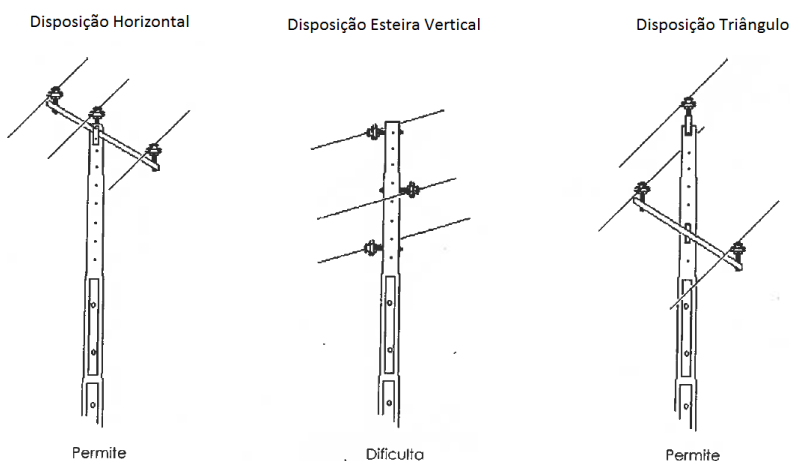


Figura 2.1: Exemplos de disposição de condutores.[7]

2.4.2 Condições Atmosféricas

O segundo grupo refere-se às condicionantes atmosféricas. Este é de extrema importância, uma vez que para a execução dos trabalhos, é necessário que a visibilidade seja a mais adequada. Este parâmetro é importante uma vez que os executantes necessitam de usar as ferramentas com elevada precisão, e também para que os responsáveis de trabalhos possam vigiar o desenrolar das operações e, desta forma, controlar as consequências das manobras realizadas pelos executantes. Seguidamente, identificaremos as diferentes condições atmosféricas e as consequências destas em relação aos trabalhos em tensão [8]:

- **Precipitações atmosféricas de pouca importância:** considera-se que a precipitação é deste tipo quando esta não interfere com a visibilidade dos executantes e do responsável de

trabalhos. No caso de ocorrerem os trabalhos ao contacto, estes não devem ser iniciados mas a operação em curso poderá ser terminada.

- **Precipitações atmosféricas importantes:** estas condicionam os três métodos de trabalho sendo que, no caso dos trabalhos ao contacto, estes não devem ser iniciados nem terminados. Por seu lado, os trabalhos à distância ou ao potencial podem ser terminados mas não podem ser iniciadas novas operações.
- **Nevoeiro espesso:** considera-se esta condicionante quando a visibilidade for reduzida de forma perigosa para a segurança. Neste caso, as operações em curso podem ser terminadas mas nenhuma poderá ser iniciada.
- **Vento violento :** considera-se esta condicionante quando o vento impede os executantes de utilizarem as ferramentas ou os seus equipamentos com precisão. Desta forma, os trabalhos ao contacto, à distância e ao potencial não devem ser iniciados nem terminados.
- **Trovoada:** neste caso, os diferentes métodos de trabalho não devem ser terminados nem iniciados.

2.5 Métodos de Trabalho

Para a realização dos trabalhos em tensão existem quatro métodos distintos de execução, sendo eles, o método à distância, o método por contato, o método ao mesmo potencial e, por fim, o método global. [9]

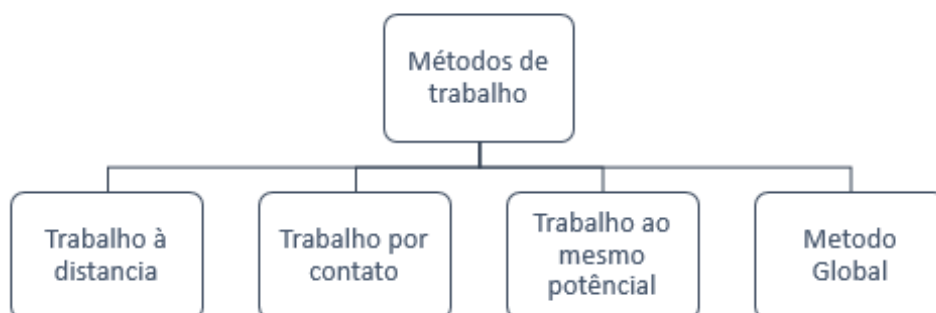


Figura 2.2: Diferentes métodos utilizados.

Em seguida serão apresentados os diferentes métodos, onde será feita uma breve explicação de cada um deles.

2.5.1 Método à distância

Relativamente ao método à distância, trata-se de uma metodologia onde o executante se posiciona para além da distância mínima de aproximação (D), sendo esta a distância mínima no ar, medida em relação a peças condutoras em que o potencial a que se encontram seja diferente do potencial do executante. A distância mínima de aproximação é dada através da conjugação da distância de tensão (t) e da distância de guarda (g). A distância de tensão é a distância mínima a que o executante poderá estar em relação às peças condutoras na ausência de dispositivos de proteção, sendo aquela dada por $U_n/2$ e o resultado desta operação arredondado ao número inteiro mais próximo, não podendo ser inferior a 10cm. Por seu lado, a distância de guarda trata-se da distância a considerar de forma a que executante possa realizar todas as intervenções e não ter preocupações permanentes em respeitar a distância de tensão. [10] Estas distâncias variam consoante os níveis de tensão, conforme se pode ver na seguinte tabela:

Tabela 2.1: Distâncias de segurança

Tensão nominal	Distância de tensão (cm)	Distância de guarda (cm)	Distância mínima de aproximação (cm)
6	10	50	60
10	10	50	60
15	10	50	60
30	20	50	70
60	30	50	80
110	60	50	110
150	80	50	130
220	110	50	160
400	200	50	250

Para a realização deste tipo de trabalho o executante utiliza ferramentas fixadas na extremidade de varas ou cordas, sendo que estas se encontram dotadas de isolamento apropriado ao nível de tensão existente nas peças onde se realiza a intervenção. Apenas com o uso destas é que o executante pode interceder a chamada zona interdita, que se situa no interior da distância de tensão. [11]

Na figura seguinte 2.3 é possível ter uma melhor perceção das noções acima descritas:

De salientar que em nenhum caso a zona de evolução do executante poderá interceder uma zona interdita. Sendo a zona de evolução do executante definida pela zona envolvente dos seus gestos, e deslocamentos efetuados no decurso do trabalho, incluindo as peças não isolantes que ele manipula. [11]

Este método é também utilizado em operações de limpeza no interior de postos de transformação, o que obriga à utilização de novas distâncias mínimas de segurança, sendo elas:

- Para $1kV \leq U_n \leq 15kV$ temos uma distância mínima de 0,60 metros;
- Para $U_n = 30kV$ temos uma distância mínima de 0.70 metros.

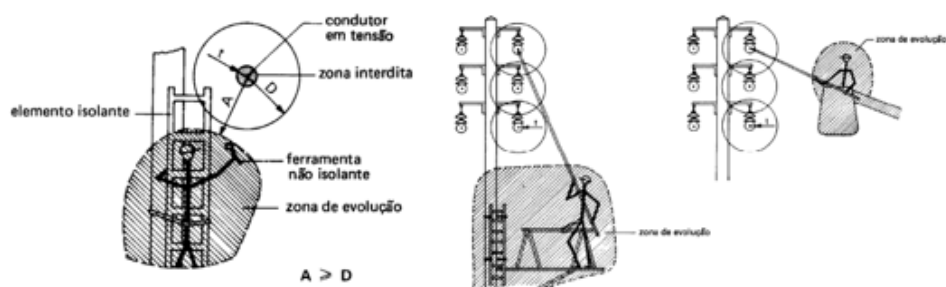


Figura 2.3: Exemplificação de distância mínima.

A imagem seguinte 2.4 dá uma melhor perceção das condicionantes, onde podemos verificar a sombreado a zona de atuação do executante e A, a distância mínima de segurança em relação aos condutores. [12]

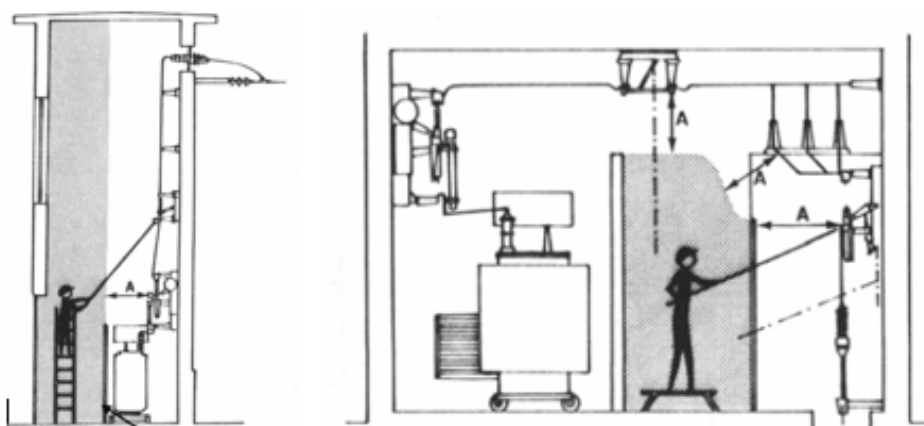


Figura 2.4: Exemplificação de distância mínima.

Este método devido às suas características encontra-se indicado para a realização de trabalhos em instalações de Média e Alta Tensão.

2.5.2 Método por contacto

Nesta metodologia de trabalho, os executantes penetram na zona situada entre a distância mínima de aproximação existindo contacto com as peças com as quais vão intervir. A proteção do executante é garantida através da utilização de equipamentos de proteção como luvas, protetores de braços e plataformas isolantes dotados de isolamento apropriado para o nível de tensão a que o trabalho se irá realizar. [10]

Este método é usado essencialmente em Baixa Tensão, podendo ser utilizado também em redes de Média Tensão, não superiores a 35kV.



Figura 2.5: Exemplo de um trabalho realizado ao contacto

2.5.3 Método ao potencial

O método ao potencial é um procedimento em que os executantes para intervirem nas peças em tensão colocam-se ao mesmo potencial destas. Desta forma, trata-se de um método com elevados riscos, uma vez que para a sua realização é necessário que o executante penetre na zona tensão, ou seja, ultrapasse a distância de tensão descrita anteriormente.[10]

Neste procedimento é necessário garantir a distância mínima de aproximação (D) relativamente a peças que se encontrem a potenciais diferentes. A proteção do executante é realizada por meio de equipamentos isolantes nomeadamente plataformas elevatórias ou fixas.

Este método é usualmente utilizado em redes de Média, Alta e Muito Alta Tensão.

2.5.4 Método global

O método global caracteriza-se pela possibilidade de os executantes poderem realizar a combinação dos três métodos anteriormente descritos durante a execução de um determinado trabalho. Neste caso, a possibilidade da combinação dos diferentes procedimentos que representam esta simbiose está restringida pelo facto de não ser possível a utilização de dois métodos em simultâneo, apenas sendo possível a utilização destes em etapas distintas, apesar de serem utilizados na mesma intervenção. [10]

Este procedimento é utilizado em redes de Média e Alta Tensão. No caso de redes de Alta Tensão apenas é usado a combinação entre os procedimentos de trabalho à distância e ao potencial.

2.6 Situações críticas

Nas intervenções em tensão existem situações críticas como a subida accidental do potencial em apoios e nas armações. Esta situação ocorre em consequência de um curto-circuito accidental que pode provocar um acidente elétrico ao executante e aos restantes membros da equipa que se encontrem em contacto em simultâneo com uma ou mais peças que estejam a potencial diferente. De forma a precaver-se destas situações, ou seja de uma eventual subida do potencial devem ser adotadas as seguintes medidas [13]:

- Evitar entrar em contacto com as peças que sejam suscetíveis de serem levadas a um potencial diferente do potencial em que o executante se encontra.
- Tomar as disposições necessárias para manter as peças a um potencial igual.

de seguida, são apresentados alguns casos típicos de situações que podem originar riscos de acidentes elétricos.

1º Caso:

Na realização de uma intervenção a partir de um apoio, o executante deve montar na escada um elemento de fibra de vidro e colocar-se no segundo degrau ou nível superior desse elemento de fibra de vidro. Caso esse processo não seja realizado, o executante estará em contacto entre dois potenciais distintos uma vez que a escada encontra-se ao potencial da terra e desta forma a corrente circulará pelo corpo do executante[13], como se pode verificar na figura 2.6:

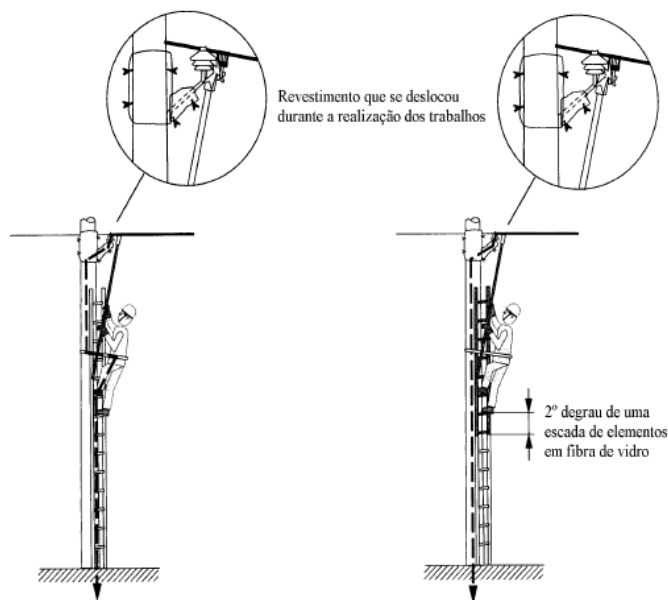


Figura 2.6: Exemplificação da situação crítica nº1

2º Caso:

Numa intervenção a partir de um elevador com braço não isolante, o executante nunca poderá entrar em contacto com o apoio, uma vez que deste modo fica suscetível de ficar a um potencial diferente do seu, já que que o elevador encontra-se ao potencial da terra. O elevador apenas poderá entrar em contacto com o apoio caso o seu braço seja isolado.[13]. conforme se apresenta na figura 2.7:

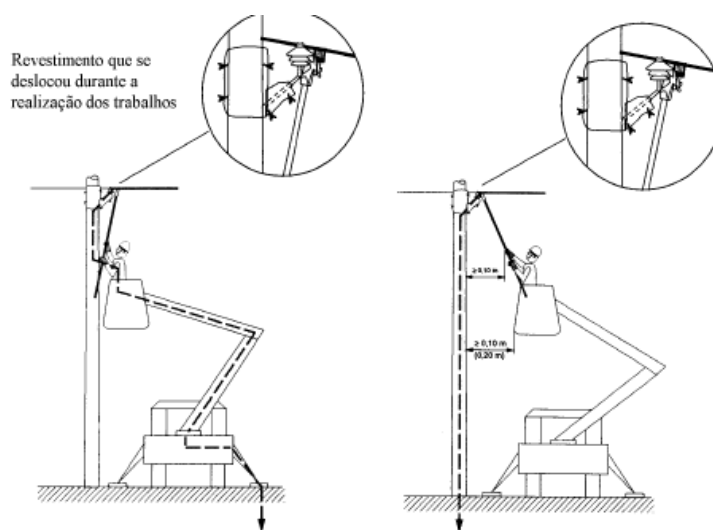


Figura 2.7: Exemplificação da situação crítica nº2

No caso de a intervenção ser realizada por dois executantes, sendo que um está posicionado no apoio e o outro no elevador, as distâncias a cumprir devem ser referentes à distância entre o elevador e o executante que permanece no apoio, figura 2.8.[13]

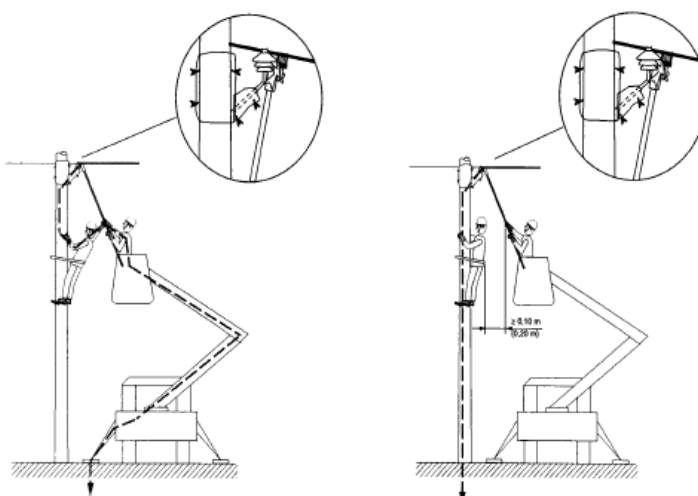


Figura 2.8: Exemplificação da situação descrita

3º Caso:

No caso de uma intervenção num apoio, a equipa que acompanha os executantes, que se encontra no solo, deve colocar-se a uma distância não inferior a um metro relativamente ao apoio, por forma a não existir contacto entre estes e o apoio. Em caso de contacto, o potencial no apoio é suscetível de sofrer uma subida. [13] Exemplificação na figura 2.9.

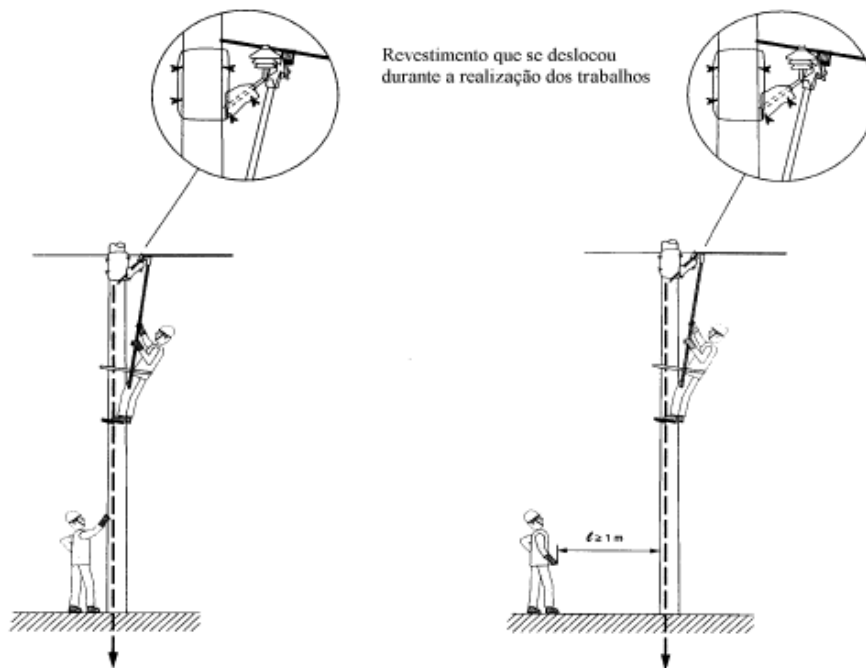


Figura 2.9: Exemplificação da situação referente ao caso nº 3

2.7 Tipos de trabalhos

Aos diferentes tipos de tensão existentes na rede elétrica são associados alguns trabalhos típicos. Assim, para os diferentes tipos de tensão podem realizar-se os seguintes trabalhos:

Baixa Tensão

- Ligar ou desligar ramais de alimentação de clientes;
- Substituição das bases de fusíveis e de ligadores em portinholas ou armários de distribuição;
- Montagem e desmontagem de equipamento de contagem;
- Substituição de condutores ou isoladores em postes.

Média Tensão

- Ligar ou desligar troços de linhas;

- Substituição de condutores;
- Substituição de isoladores ou de armações em apoios;
- Substituição ou montagem de aparelhos de proteção, de corte ou de seccionamento em apoios;
- Substituição de condutores;
- Substituição de apoios;
- Montagem de postes, de plataformas para ninhos, de dispositivos dissuasores de nidificação e de proteções de avifauna;
- Lavagem de isoladores em linhas aéreas;
- Lavagem de equipamento em subestações.

Alta Tensão

- Ligar ou desligar troços de linhas;
- Substituição de cadeias de isoladores;
- Manutenção de aparelhagem de seccionamento;
- Montagem ou desmontagem de equipamento em subestações;
- Lavagem de isoladores em linhas aéreas.

2.8 Resumo

Os trabalhos em tensão permitiram aumentar os índices de qualidade relativos a rede elétrica, na sua globalidade, uma vez que podem ser realizados nas diferentes gamas de tensão existentes na rede elétrica nacional, figura 2.10.



Figura 2.10: Diferentes níveis de tensão que permitem a realização dos TET

Para a realização destes trabalhos foram criados diferentes métodos, tal como foi demonstrado na secção 2.5.

No futuro, sem dúvida alguma, existirão grandes mudanças ao nível de operações deste tipo, uma vez que, com a utilização de sistemas robotizados os riscos serão diminutos e desta forma poderão ser realizados diferentes tipos de intervenções, sem que existam condicionantes como as do tipo atmosférico.

Capítulo 3

Equipamento para trabalho em TET

No presente capítulo será feita uma análise do equipamento utilizado em trabalhos em tensão. A análise passa por uma descrição das características técnicas, físicas e a sua utilidade na execução dos TET. Os equipamentos a analisar são os seguintes:

- Varas;
- Tirantes;
- Protetores;
- Curto – circuitador em cabo seco;
- Mantas;
- Luvas;
- Escadas.

De salientar que apenas são analisados os equipamentos que estão sujeitos a inspeções periódicas através de ensaios dielétricos. Na escolha do equipamento a analisar foi tido em conta as necessidades do setor, isto é, quais as ferramentas mais utilizadas, dado que o objetivo deste trabalho passa por dotar as instalações do laboratório com capacidade de efetuar estes testes, para no futuro poder prestar este serviço. Desta forma, recolheu-se informação relativa a este tema junto de um dos principais prestadores de serviços TET a nível nacional - a Eurico Ferreira S.A.

3.1 Varas

As varas são um dos equipamentos com mais utilidade na execução dos TET, uma vez que são usadas em todos os métodos de trabalho descritos em [2.5](#). Estas são constituídas por um material rígido e isolante, sendo este material normalmente de fibra de vidro plástico reforçado (PRFV). O interior da vara é preenchido por uma espuma de forma a potenciar uma construção sólida.[[14](#)]

Neste tipo de equipamento as inspeções periódicas para validação do seu estado de funcionamento, bem como as suas características isolantes realizam-se com uma periodicidade de 24 meses. [14]

Neste grupo de ferramentas podemos encontrar diferentes varas, que permitem a execução dos TET. Descrevem-se, em seguida, as diferentes tipologias de varas.

3.1.1 Vara para fixação de condutores

É constituída por PRFV, tal como foi referido. Os seus terminais são fabricados por peças em liga leve e bronze que permitem uma capacidade de aperto entre os 4 a 50 mm. É visível um exemplo deste tipo de vara na figura 3.1.[15]



Figura 3.1: Aspeto de uma vara para fixação de condutores.[15]

O comprimento nominal desta tipologia de vara varia entre os 2.40 metros e os 4.80 metros e possui uma massa entre os 3.5kg e os 12.3kg.[16]

Relativamente às cargas máximas suportadas por este equipamento, este deve suportar em caso de: [15]

- Compressão: valores entre os 65 e os 265 daN, consoante o seu tamanho;
- Tração: valores entre os 800 e 900 daN, consoante o seu tamanho, sendo que no caso da vara com 4.80 metros não deve ser utilizada para esforços de tração.

Este equipamento é tipicamente utilizado em tarefas como o afastamento de condutores, visível na figura 3.2, o afastamento por deformação de uma haste de descarga e, por ultimo, como suporte de um curto-circuitador isolado. Em suma, é considerada uma vara de suporte ou de afastamento.

3.1.2 Vara de gancho

As varas de gancho, figura 3.3, são também constituídas por PRFV. Na sua extremidade contém um gancho, figura 3.4, que permite ao executante segurar, colocar, retirar ou aparafusar qualquer dispositivo com anel ligador. [17]

Este gancho, por outro lado, também permite acoplar qualquer ferramenta que disponha de um terminal apropriado para o efeito.[17]

Estas varas têm um diâmetro de 32 milímetros, sendo os seus terminais fabricados em liga leve e bronze. O seu comprimento varia entre os 2,40 metros e os 3,60 metros. Apresenta uma massa que varia entre os 2,9kg e os 3,6 kg.[17]



Figura 3.2: Exemplo de utilização numa montagem em triangulação.[15]

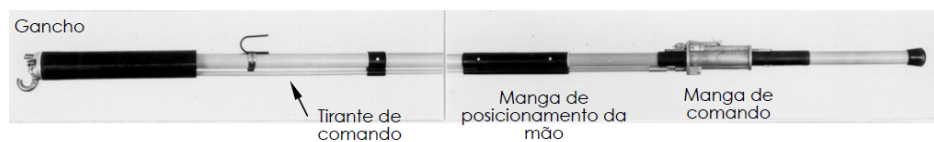


Figura 3.3: Exemplo de uma vara de gancho.[17]



Figura 3.4: Imagem da esquerda: gancho fechado. Imagem da direita: gancho aberto.

3.1.3 Vara com terminais universais

Este tipo de equipamento é composto por terminais universais nas extremidades, o que permite o acoplamento de ferramentas munidas deste formato de terminal. [18]

Neste equipamento está também incorporado um gancho duplo, visível na figura 3.5, que tem como finalidade fornecer um apoio quando é realizada uma operação de afastamento ou aproximação de condutores, bem como o de tornar possível a suspensão da vara no local de trabalho. [18]

A sua composição é também de PRFV e os terminais fabricados em liga leve. O seu tamanho varia entre os 2,40 metros e os 3,60 metros, possuindo uma massa entre os 1,7kg e os 3,3 kg. [18]



Figura 3.5: Exemplo de vara com terminais universais.[18]

3.1.4 Vara para filaças

Este equipamento tem como característica, o facto de nas suas extremidades conter dois equipamentos distintos, sendo que numa das extremidades existe uma lâmina rotativa e na extremidade oposta existe um gancho rotativo, como é possível visualizar na figura 3.6. [19]



Figura 3.6: Exemplo de vara para filaças. [19]

A lâmina rotativa permite fazer/desfazer filaças; abrir um freio; deformar ou partir um fio de filaça na gola de um isolador, figura 3.7. O gancho rotativo tem como função fazer/desfazer uma filaça com um fio de filaça com argolas nas extremidades, deslocar ou colocar acessórios leves munidos de anel, retificar a posição de protetores e acessórios e, por fim, enganchar o cordão de fecho dos protetores. [19]



Figura 3.7: Exemplo de uma operação de partir um fio de filaça na gola de um isolador.[19]

Tal como se apresenta na figura 3.6, esta vara contém igualmente um gancho que poderá ser duplo, sensivelmente a meio. Este gancho surge com os mesmos objetivos do gancho descrito na vara com terminais universais (3.1.3).

Relativamente às composições das ferramentas que compõem a vara, a lâmina rotativa e o gancho duplo são de aço, sendo que o gancho rotativo é constituído por cobre. [19]

3.1.5 Vara com grampo

Este equipamento é utilizado em operações nas quais é necessário realizar o deslocamento de condutores, hastes de disjuntores ou hastes de proteção. Este tipo de vara contém um grampo na sua extremidade, que é controlado através de um tirante de comando, como se pode visualizar na figura 3.8. [20]

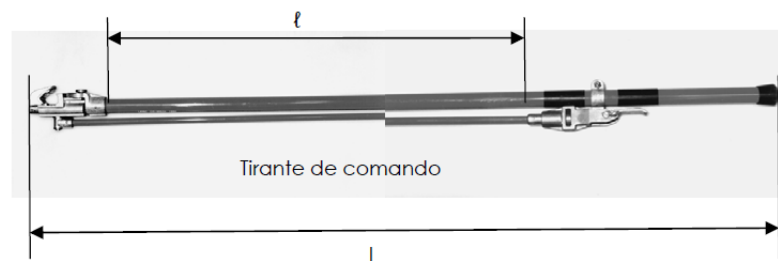


Figura 3.8: Exemplo de uma vara com grampo.[20]

É constituída também por fibra de vidro, sendo apenas isolada na zona demarcada por l , visível na figura 3.8. O grampo, figura 3.9, é fabricado através da utilização de uma liga leve e bronze. Relativamente ao seu comprimento total (L) este varia entre os 2.40 metros e os 3.60 metro, possuindo uma massa que varia entre os 3.1kg e os 4 kg.[20]



Figura 3.9: Exemplo de um grampo na extremidade da vara.

3.1.6 Vara corta – cabos

Tal como o nome indica, a vara corta-cabos, figura 3.10, trata-se de uma vara com a função de cortar fios e cabos metálicos, com uma constituição semelhante às varas descritas anteriormente. [21]

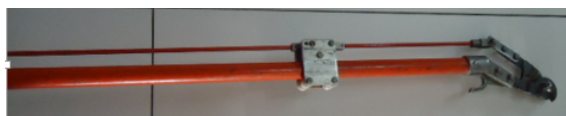


Figura 3.10: Exemplo de uma vara corta-cabos.

As varas corta-cabos encontram-se divididas em 3 modelos de equipamento, sendo que a característica que as distingue é a capacidade de corte relativamente a diferentes materiais e seções de cabo. Na tabela 3.1 encontra-se descrito as capacidades de corte para cada um dos três modelos.[21]

Tabela 3.1: Capacidade de corte para diferentes materiais.

Material do cabo	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
Cobre	75 mm ²	48mm ²	148mm ²
Amelec	75mm ²	54mm ²	148mm ²
Alumino-aço	80mm ²	37mm ²	148mm ²

3.1.7 Vara corta – filações

A vara corta-filações, figura 3.11, trata-se de um equipamento utilizado para cortar fios de filação na gola de um isolador rígido com uma lâmina quebra-filações, ou durante o desenrolamento de uma espira. [22]



Figura 3.11: Exemplo de uma vara com grampo.[22]

Relativamente aos constituintes isolantes trata-se de uma vara idêntica às anteriores. Na sua extremidade encontra-se uma cabeça de corte de aço, como é visível na figura 3.12.

Esta cabeça de corte possibilita o corte de fios com as seguintes características:

- Cobre recozido: diâmetros até 5mm;
- Alumínio semiduro: diâmetros até 5.6mm.

A vara corta-filações tem um diâmetro de 34mm com um comprimento nominal de 2.60metros e uma massa de 3.7kg. [22]



Figura 3.12: Exemplo de uma cabeça de corte de aço.

3.1.8 Vara porta- chaves

Trata-se de um equipamento destinado a imobilizar, aparafusar ou desaparafusar, por meio de chaves de caixas amovíveis, parafusos e porcas, cujo eixo pode fazer um ângulo entre 0° e 140° com o eixo da vara. Na figura 3.13 é possível observar uma vara porta-chaves, e respectiva utilização. [23]



Figura 3.13: Exemplo de uma vara porta- chaves e exemplo de utilização para desaperto dos parafusos de um ligador paralelo.[23]

As varas porta-chaves podem ter um comprimento nominal entre os 2.4 metros e os 3 metros e possuem uma massa a rondar os 3 e 3.3kg, respectivamente. O seu isolamento é também realizado através da utilização de fibra de vidro plástico reforçado. [23]

3.2 Tirantes

O tirante é um equipamento de auxílio aos trabalhos em tensão. Existem três modelos de tirantes, sendo eles: o tirante com grampo, o tirante com rolete e o tirante de amarração. A

constituição do seu isolamento é igual à constituição das varas, ou seja, o isolamento é feito através de fibra de vidro plástico reforçado. [24]

Neste tipo de equipamento as inspeções periódicas para validação do seu estado de funcionamento, bem como as suas características isolantes realizo-se com uma periodicidade de 24 meses. [14]

3.2.1 Tirante de Grampo

O tirante com grampo, figura 3.14 ,é usado como peça isolante intermediária. Este serve para transmitir esforços de tração que um condutor origina, podendo ser utilizado prendendo este diretamente no grampo, ou prendendo-o à manilha de um colar com manilha fixada numa vara para fixação de condutores. [24]



Figura 3.14: Exemplo de um tirante de grampo[24]

As suas características físicas encontram-se descritas na tabela 3.2. [24]

Tabela 3.2: Características físicas de um tirante de grampo

Comprimento nominal (m)	1.0	1.5	2.10
Comprimento de tubo isolante (m)	0.6	1.10	1.82
Diametro (mm)	32	32	38
Massa aproximada	1.6	1.80	3.1
Carga máxima de utilização, em tração	1400	1400	2900

3.2.2 Tirante com rolete

O tirante com rolete, figura 3.15, constitui uma peça isoladora intermédia que pode deslocar-se sobre o condutor. É utilizado para medir a distância vertical de um condutor em relação ao solo, a um outro condutor ou a qualquer obstáculo, ou para manobrar a partir do solo protetores de condutor colocados a meio vão. Este equipamento dispõe para o efeito nas suas extremidades

uma maxila e um anel rotativo, sendo estes terminais produzidos através de uma liga leve, de aço e bronze. [25]

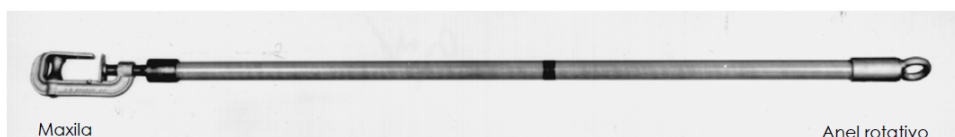


Figura 3.15: Exemplo de um tirante com rolete.[25]

Trata-se de um equipamento com um diâmetro de 32mm, tendo um comprimento nominal de 1.20m e uma massa de aproximadamente 1.5 kg. A carga máxima de tração deste equipamento situa-se nos 450 daN. [25]

3.2.3 Tirante de amarração

O tirante de amarração, visível na figura 3.16, trata-se de um equipamento utilizado para manter a tensão mecânica de um condutor para permitir a substituição de uma cadeia de amarração. Este equipamento possui limitações, que é o facto de a sua utilização ser restringida até uma tração mecânica máxima de 1300 daN e os isoladores que constituem a cadeia não podem ter um diâmetro superior a 200mm. [26]

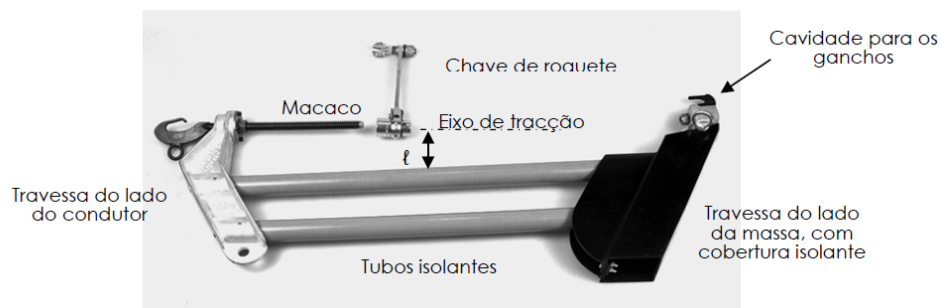


Figura 3.16: Composição de um tirante de amarração. [26]

Este equipamento é constituído por um macaco com parafuso manobrável com chave de roquete de 24x27 de metal protegido contra a corrosão. Os seus mecanismos são fabricados por uma liga leve, aço e bronze. Relativamente às suas dimensões, possui um comprimento máximo de 1,30 m e mínimo de 1,10 m e o diâmetro dos tubos isolantes são de 38 mm. Por seu lado, a sua massa é de aproximadamente de 8kg. [26]

3.2.4 Tirante de amarração simétrico

O tirante de amarração simétrico, figura 3.17, é utilizado para manter a tensão mecânica de um condutor para permitir a substituição de uma cadeia de amarração. O tirante de amarração

simétrico é especialmente indicado nas situações em que a tração mecânica do condutor seja superior a 1000 daN e/ou a cadeia de isoladores esteja dotada de isoladores com diâmetro menor ou igual a 256 mm. [27]

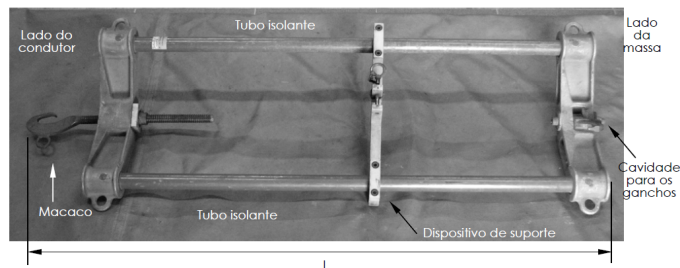


Figura 3.17: Composição de um tirante de amarração. [27]

Este equipamento é constituído por um macaco manobrável com chave de roquete de 24x27, em metal, protegido contra a corrosão. Relativamente às suas dimensões este tem um comprimento mínimo de 1.15 metros e um comprimento máximo de 1.35 metros. [27]

3.3 Protetores

Os protetores permitem efetuar o isolamento dos condutores ou dos isoladores. O seu fabrico é efetuado através da utilização de polietileno moldado de cor alaranjada. [28] Os protetores utilizados para trabalhos em tensão são os seguintes:

- Protetores de condutores;
- Protetores de isoladores rígidos;
- Protetores de cadeia de suspensão;
- Protetores de cadeia de amarração;
- Protetores de pinça de amarração.

Estes equipamentos promovem um isolamento das partes ativas, sendo que este isolamento resulta em grande parte de uma camada de ar existente entre o condutor/isolador e a parte sólida do protetor, como é possível verificar na figura 3.18.

De notar, que dentro das gamas existentes de protetores todos eles são utilizados através da combinação de diferentes tipos de protetores.

Neste grupo de equipamentos, as inspeções periódicas para validação do seu estado de funcionamento, bem como as suas características isolantes realizam-se com uma periodicidade de 12 meses. [28]

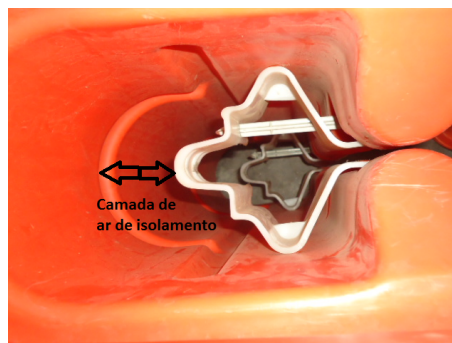


Figura 3.18: Visualização do espaçamento entre a parte sólida e a parte envolvente do isolador/conductor .

3.3.1 Protetores de condutores

Os protetores de condutores têm por norma as seguintes dimensões: $900mm * 360mm * 200mm$. Os seus bordos diferem, visto que numa das extremidades existe uma zona de encaixe e na outra extremidade existe um rebordo que encaixará noutro protetor através da extremidade de encaixe, figura 3.19. [29]



Figura 3.19: Exemplo de protetor de condutor.

Na sua base inferior existe um anel de pressão e fechos de metal protegidos contra a corrosão, sendo que os fechos poderão também ser formados por polietileno. Esta tipologia de protetor é possível visualizar na figura 3.20. O anel de pressão permite ao executante colocar o protetor no condutor, sendo para tal necessário acoplar uma vara de gancho.[29]

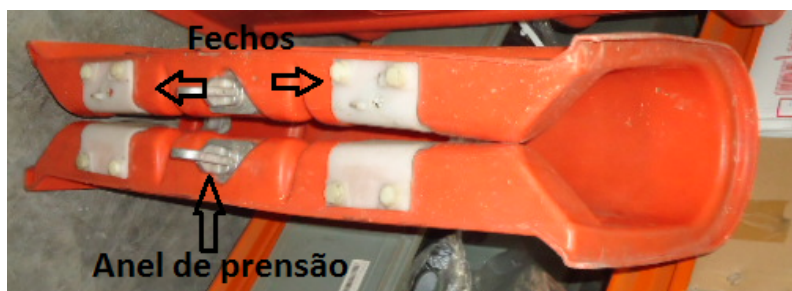


Figura 3.20: Visualização dos constituintes do protetor.[29]

3.3.2 Protetores de isoladores rígidos

Os protetores de isoladores rígidos, figura 3.21, são utilizados em combinação com o porta com ganchos de altura regulável. Este tipo de equipamento tem como dimensões características uma altura de 450 mm e uma largura de 420mm. O seu peso ronda os 4.5kg. Tem na sua constituição dois anéis de pressão que permitem o manuseamento do protetor durante a intervenção. [30]

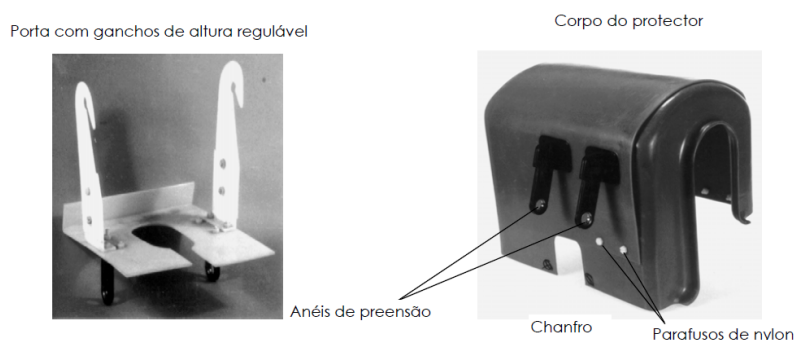


Figura 3.21: Exemplo de protetor de isolador rígido.[30]

Este equipamento associado a dois protetores de condutor, figura 3.22, sobre os quais fica apoiado, e colocado por cima de um isolador rígido, permite ao executante reduzir a distância entre a zona de evolução e a parte coberta pelos protetores. Pode igualmente ser utilizado para evitar contactos fortuitos entre duas peças a potenciais diferentes. O isolamento resulta, em parte, de uma camada de ar de espessura determinada pela associação dos protetores. Em consequência, o protetor de isolador rígido só deve ser utilizado em condutores que não possuam peças salientes de dimensões superiores a 40mm. Na prática, permite a presença de um ligador paralelo ou de qualquer torçada ou cabo desfiado de dimensões inferiores a este valor.[30]



Figura 3.22: Exemplo de intervenção onde existem protetores de isoladores rígidos associados a protetores de condutor.

3.3.3 Protetores de cadeia de suspensão

Os protetores de cadeia de suspensão são formados por um conjunto de subequipamentos denominados protetores de chaminé solidária, porta e arcadas do condutor. Este equipamento é visível na figura 3.23. As dimensões deste conjunto montado são aproximadamente $800\text{mm} \times 560\text{mm} \times 310\text{mm}$ e uma massa de aproximadamente 6.5kg. [31]



Figura 3.23: Exemplo de protetor para cadeia de suspensão.

O protetor para cadeias de suspensão pode ser associado a diferentes tipologias de rede, sendo 4 as que habitualmente são mais utilizadas. Pode ser associado a dois protetores de condutor, para proteção de uma cadeia de suspensão constituída por 2 ou 3 isoladores, cujo diâmetro seja menor ou igual a 160mm . Neste caso a proteção só é realizada de um lado da cadeia. Pode também ser associado a dois protetores de condutor, sobre a cabeça de uma vara de suporte de condutor numa montagem em triangulação ou em mastro. Outra solução passível de utilização passa pela associação a um protetor de condutor e a um outro protetor de cadeia de suspensão, sobre as cabeças de duas varas-suporte numa montagem dupla em triangulação, quando a distância entre a

cabeça dessas varas estiver compreendida entre $0,40m$ e $0,60m$. Por ultimo, pode ser associado a dois protetores de condutor, sobre as cabeças de duas varas-suporte de uma montagem dupla em triangulação, numa situação de isolador rígido em ângulo, quando a distância entre a cabeça das duas varas for de aproximadamente $1m$. [31]

3.3.4 Protetores de cadeia de amarração

Os protetores de cadeias de amarração estão divididos em dois grupos, aos quais são atribuídos os nomes de modelo 1 e modelo 2. No modelo 1, visível na figura 3.24, tem por norma dimensões: $700mm * 670mm * 270mm$, tendo uma massa de aproximadamente $5.3kg$. [32]



Figura 3.24: Exemplo de protetor para cadeia de amarração.

Relativamente ao modelo 2, este é constituído por duas peças semelhantes às da figura 3.24, sendo que numa das extremidades tem características que os permitem acoplar, um rebordo e um encaixe semelhantes ao existente nos protetores de condutor visível na figura 3.19. As suas dimensões são semelhantes ao modelo 1, exceto o comprimento de uma das peças, que tem a dimensão de $550mm$ e a outra $500mm$. A sua massa é idêntica e de aproximadamente $4.5kg$. [32]

Em termos práticos, a diferença entre os dois modelos situa-se no facto de o modelo 1 ser utilizado sobre uma cadeia de amarração constituída por dois ou três isoladores de diâmetro, não superior a $200mm$. Por outro lado, o modelo 2 é utilizado em cadeias de amarração com 2 ou mais isoladores de diâmetro máximo $256mm$. Ambos acoplados a protetores de condutor, visível na figura 3.25, permitem ao executante reduzir a distância entre a zona de evolução e a parte coberta pelo protetor. Podem igualmente ser utilizados para evitar contactos fortuitos entre duas peças a potenciais diferentes [32]



Figura 3.25: Exemplo de protetor para cadeia de amarração acoplado a protetores de condutor.

3.3.5 Protetores de pinça de amarração

Os protetores de pinça de amarração, figura 3.26, estão divididos em dois modelos semelhantes, uma vez que a diferença reflete-se no tamanho da pinça que estes poderão englobar. No modelo 1 a altura máxima (H), visível na figura 3.26 da pinça é de 230mm, por seu lado, no modelo 2 é de 270mm.[33]

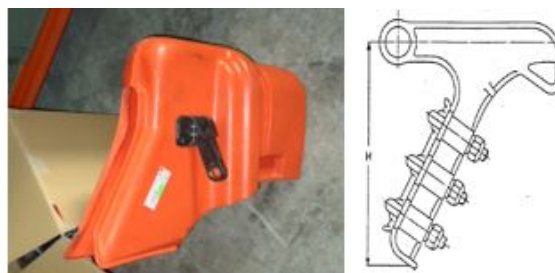


Figura 3.26: Exemplo de protetor de pinça de amarração e de uma pinça de amarração.[33]

Na tabela 3.3, é possível visualizar as diferenças entre os protetores no que se refere ao tamanho e ao peso de cada um.[33]

Tabela 3.3: Tipologias de pinças de amarração

Modelo	Dimensões (mm)	Peso (kg)
1	430x430x230	1.5
2	570x480x250	2.2

O protetor de pinça de amarração associado previamente a um protetor de condutor, figura 3.27, permite a utilização de um protetor de cadeia de amarração formando com este um conjunto indissociável e, desta forma, proteger o executante. [33]

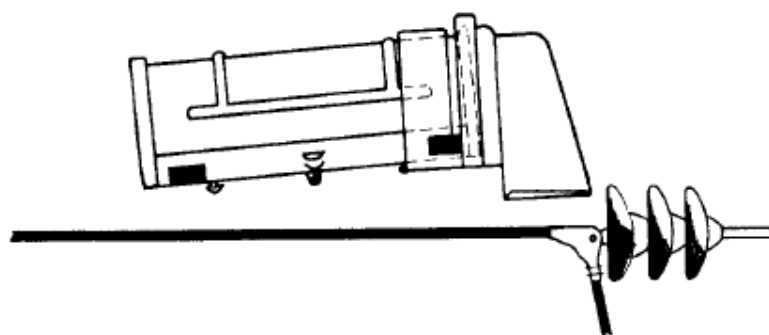


Figura 3.27: Exemplo de protetor de pinça de amarração associado a um protetor de condutor.[33]

3.4 Mantas isolantes

As mantas isolantes são um equipamento que é usado para cobrir condutores ou partes metálicas que estejam em tensão ou ligadas à terra.[34] Estas mantas são fabricadas através do uso de um material plástico ou elastômetro, considerado-se o elastômetro um material macromolecular que retoma rapidamente as suas dimensões e formas iniciais depois de ter sido submetido a uma deformação substancial através de uma solicitação. [34]

Existem seis classes de mantas. Estas distinguem-se pela sua espessura e cor, características que indicam a tensão máxima a que estas podem ser sujeitas, tal como se pode verificar na tabela seguinte 3.4 .[34]

Tabela 3.4: Características das diferentes classes de mantas

Classe	Cor	Espessura Elastômetro (mm)	Espessura Plástico (mm)	Tensão máxima A.C. (V r.m.s.)	Tensão máxima D.C. (V r.m.s.)
00	Bege	1.5	0.8	500	Não existe
0	Vermelho	2.2	1.0	1000	1500
1	Branco	3.6	1.5	7500	11250
2	Amarelo	3.8	2.0	17000	25500
3	Verde	4.0	Não existe	26500	39750
4	Laranja	4.3	Não existe	36000	54000

Relativamente ao seu formato existem duas tipologias (figuras 3.28 e 3.29). Na figura 3.28 a manta é inteira contendo apenas orifícios para a sua manipulação nas extremidades. Na outra tipologia verifica-se a existência de uma fenda entre o meio do equipamento e uma das extremidades, como é possível verificar na figura 3.29 . [35].

Habitualmente, estas mantas têm um tamanho que ronda os 92cm de lado e uma massa de aproximadamente 3kg.



Figura 3.28: Exemplo de uma manta sem fenda.



Figura 3.29: Exemplo de uma manta com fenda.

Estas mantas isolantes devem ser consideradas um “protetor de massa”, uma vez que salvaguardam o executante no caso de o condutor ser elevado a um potencial diferente deste, e permite reduzir os riscos em caso de escorvamento de arcos entre peças. [35] .

Na imagem 3.30 é possível observar um trabalho em tensão, em que o executante usou as mantas para isolar o condutor por forma a não ocorrerem contactos fortúneos com este.



Figura 3.30: Exemplo de um trabalho TET com recurso a mantas isoladoras.

Neste grupo de equipamento, as inspeções periódicas para validação do seu estado de funcionamento, bem como as suas características isolantes realizão-se com uma periodicidade de 12 meses. [34]

3.5 Curto – circuitador em cabo seco

O curto circuitador, figura 3.31, é um equipamento que permite realizar a abertura de um circuito sem modificar o esquema da rede e sem perturbar a distribuição. [36]



Figura 3.31: Exemplo de um Curto – circuitador em cabo seco.

Este cabo que forma o curto-circuitador tem um isolamento seco de alma circular, sem bainha metálica, que pode apresentar as seguintes características:[36]

Tabela 3.5: Características dos cabos curto-circuitadores

Condutor	Cobre multifilar	Alumínio multifilar
Secção (mm ²)	50	75
Intensidade máxima admissível (A)	250	250
Cor da camada isolante interior	Preto	Castanho
Cor da camada isolante exterior de proteção	Vermelho	Laranja
Diâmetro exterior (mm)	30	24
Massa aproximada (kg/m)	1.3	0.6

O comprimento nominal deste equipamento pode ser de 4 m, 6 m, 8 m ou 10 m. Os seus terminais são cilíndricos, lisos, de liga protegida contra a corrosão. Na extremidade do cabo encontram-se os denominados ligadores, visíveis na figura 3.32, que permitem efetuar a conexão nas linhas aéreas. [36]

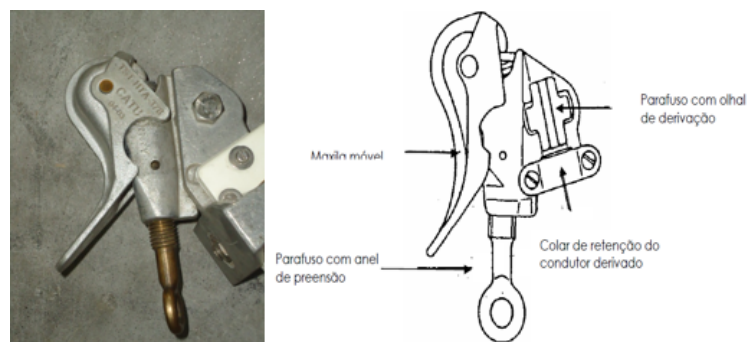


Figura 3.32: Exemplo de ligador.

Este equipamento pode ser utilizado individualmente em redes de tensão nominal até 15kV,

para tensões superiores, o curto-circuitador deve ser utilizado recorrendo ao auxílio de um tubo de proteção mecânica, visível na figura 3.33. [36]



Figura 3.33: Tubo de proteção mecânica.

Neste grupo de equipamento as inspeções periódicas para validação do seu estado de funcionamento bem como as suas características isolantes realizam-se com uma periodicidade de 12 meses.

3.6 Luvas isolantes

As luvas isolantes, figura 3.34, são um equipamento feito de material elastómero ou plástico, que permitem uma proteção ao executante contra riscos elétricos. O material elastómero consiste na combinação de diferentes materiais, podendo estes ser borracha, latex e compósitos elastómeros. Este compósito pode ser natural ou sintético. [37]

As luvas de proteção para trabalho em tensão podem ter dois tipos de tipologia, um deles o tradicional, que realizam uma proteção ao nível das mãos ou podem ter uma tipologia que permite uma proteção ao nível dos braços do executante.



Figura 3.34: Luvas isolantes.

Em seguida, na tabela 3.6, são apresentadas as diferentes classes de luvas, os seus níveis de tensão máxima a que podem ser sujeitas e as suas características físicas, ao nível da espessura e comprimento.

Neste grupo de equipamento as inspeções periódicas para validação do seu estado de funcionamento, bem como as suas características isolantes realizam-se com uma periodicidade de 6 meses. [37]

Tabela 3.6: Características dos cabos curto-circuitadores

Classe	Tensão suportada A.C. (r.m.s.)	Tamanho (mm)	Espessura (mm)	Cor
00	500	280-360	0.5	Bege
0	1000	280-360	1.0	Vermelho
1	7500	360-800	1.50	Branco
2	17000	360-800	2.30	Amarelo
3)	26500	360-800	2.90	Verde
4	36000	360-460	3.60	Laranja

3.7 Escadas

Relativamente a este equipamento existem duas tipologias, as escadas de elementos de encaixar e as escadas isolantes com ganchos. Ambas serão descritas/analizadas em seguida.

Neste grupo de equipamento as inspeções periódicas para validação do seu estado de funcionamento, bem como as suas características isolantes realizão-se com uma periodicidade de 12 meses. [38]

3.7.1 Escadas de elementos de encaixar

A escada de elementos de encaixar é constituída por diversas secções, podendo ser constituídas por elementos de liga leve ou por elementos de fibra de vidro, visível na figura 3.35. Estas são utilizadas para subir aos postes (de madeira, de betão ou metálicos). [39] O elemento em fibras de vidro deve ser utilizado:

- Quando no decurso da sua colocação, corre o risco de se aproximar de uma peça em tensão a uma distância inferior à distância mínima de aproximação;
- Quando houver possibilidade de uma subida accidental de potencial.

Relativamente às suas características, apresenta-se na tabela 3.7 o comprimento que esta pode atingir e consequentemente os aspetos físicos.[39]

3.7.2 Escada isolante com ganchos

A escada isolante com ganchos, imagem 3.36, é utilizada para obter um bom posicionamento do executante quando for necessário retirar ou colocar uma cadeia de suspensão, fora de tensão. Esta deve ser utilizada para proteger o executante das consequências de uma eventual subida accidental de potencial. [40]

Relativamente às suas características numa das extremidades existem ganchos de tubo redondo de aço protegido contra a corrosão. Estas escadas têm um comprimento máximo de 3 metros podendo, neste caso ter uma massa de aproximadamente 9.4kg. [40]



Figura 3.35: Elemento isolante de uma escada de elementos de encaixar

Tabela 3.7: Características das escadas de elementos de encaixar.

Comprimento nominal (m)	0,60	2,10	3,00	1,20	2,10	3,00
Número de degraus	2	7	10	2	7	10
Massa aproximada dos elementos Metálicos (kg)	2.8	6.5	7.8	3.5	5.2	6.8
Massa aproximada dos elementos em fibra de vidro (kg)	-	-	-	3.6	6.3	9.0



Figura 3.36: Exemplo de uma escada isolante com ganchos.

3.8 Resumo

Deste capítulo a informação mais importante a reter são as características físicas e mecânicas de cada um dos equipamentos, uma vez que, como será possível verificar no capítulo seguinte, o seu conhecimento é indispensável para as inspeções periódicas a que serão sujeitos.

Outro aspeto importante a reter, trata-se da periodicidade de inspeção de cada um dos diferentes grupos de equipamentos utilizados nos TET. Esta informação encontra-se resumida na tabela 3.8.

Tabela 3.8: Periodicidade em meses das inspeção

Equipamento	Periodicidade
Varas	24
Tirantes	24
Protetores	12
Mantas	12
Curto-circuitadores	12
Luvas	6
Escadas	12

Capítulo 4

Inspeções periódicas

As inspeções periódicas são obrigatórias para garantir a integridade do equipamento para trabalho em TET e, desta forma, proporcionar segurança aos executantes dos trabalhos. Estas, são constituídas por inspeções visuais numa primeira instância e ensaios dielétricos à posteriori.

Neste capítulo, para além da descrição dos parâmetros a ter em conta no que respeita à inspeção visual, serão detalhados os ensaios dielétricos necessários para os diferentes equipamentos. No entanto, como estes ensaios dielétricos se caracterizam como ensaios de alta tensão, torna-se essencial a perceção de algumas condicionantes normativas nomeadamente a norma IEC 60060-1, que caracteriza este tipo de testes. Desta forma, é inicialmente abordada esta temática sendo posteriormente feita a análise individual para cada um dos equipamentos.

4.1 Técnicas de ensaio de Alta tensão

Para a realização de um ensaio dielétrico é necessário ter em atenção alguns parâmetros técnicos, nomeadamente: condições atmosféricas, o arranjo do objeto em teste ou o tipo de tensão aplicada, isto é se o ensaio se realiza com tensão alternada ou continua.[41]

Neste caso são analisadas as condicionantes referentes a ensaios a seco.

4.1.1 Condições atmosféricas

As condicionantes atmosféricas para os ensaios dielétricos são: a temperatura ambiente, a pressão atmosférica e a humidade. Os parâmetros referência indicados são os seguintes: [41]

- **Temperatura de referência:** $t_0 = 20^\circ\text{C}$
- **Pressão atmosférica absoluta:** $p_0 = 1013 \text{ mbar}$
- **Humidade absoluta:** $h_0 = 11 \text{ g/m}^3$

Caso não seja possível obter estes parâmetros, é necessário recorrer a uma correção do valor da tensão de ensaio. Essa correção é obtida pela existência de uma proporcionalidade do fator de correção atmosférico, que resulta na seguinte expressão: [41]

$$U_0 = U/K_t \quad (4.1)$$

Em que:

$$K_t = k_1 * k_2 \quad (4.2)$$

O fator multiplicativo k_1 , trata-se do fator de correção da densidade de ar que é dependente de um parâmetro δ , que traduz o valor da densidade de ar relativa. O fator obtém-se através da seguinte expressão:

$$k_1 = \delta^m \quad (4.3)$$

Sendo que o valor de δ é dado pela seguinte expressão:

$$\delta = \frac{p}{p_0} \times \frac{273 + t_0}{273 + t} \quad (4.4)$$

Sendo t a temperatura ambiente, t_0 a temperatura referência, ambos expressos em graus celcius, e p a pressão atmosférica medida e p_0 a pressão atmosférica referência expressas em hPA. O método de obtenção do parâmetro m é especificado mais à frente uma vez que se encontra relacionado com variáveis do coeficiente k_2 . [41]

O coeficiente k_2 que efetua a correção da humidade é obtido através da seguinte expressão:

$$k_2 = \delta^w \quad (4.5)$$

Sendo k um parâmetro que depende do tipo de tensão aplicada no ensaio, ou seja, se é um ensaio A.C. ou D.C. No caso de ensaios A.C., temos a seguinte expressão que permite calcular o parâmetro: [41]

$$k = 1 + 0,012(h/\delta - 11) \quad \text{para } 1 \text{ g/m}^3 < h/\delta < 15 \text{ g/m}^3 \quad (4.6)$$

Sendo h o valor de humidade calculada através da seguinte expressão:

$$h = \frac{6,11 \times R \times e^{\frac{17,6 \times t}{243+t}}}{0,4615 \times (273 + t)} \quad (4.7)$$

Onde R representa a humidade relativa, isto é a humidade medida e t a temperatura ambiente.

Os coeficientes m e w, dependem da tipologia de pré-descarga, e pode ser retirado da tabela 4.1:

Tabela 4.1: Calculo dos coeficientes m e w.

G	m	w
<0.2	0	0
0.2 até 1.0	$G(g-0.2)0.8$	$G(g-0.2)/0.8$
1.0 até 1.2	1.0	1.0
1.2 até 2.0	1.0	$(2.2 - g)(2.0 - g)/0.8$
>2.0	1.0	0

Com G, sendo calculado através da expressão seguinte:

$$G = \frac{U_{50}}{500 * L * \delta * k} \quad (4.8)$$

Nesta expressão U_{50} , corresponde a 50% da tensão aplicada no ensaio, δ a densidade relativa do ar, L a distância mínima entre elétrodos e k o valor obtido das equações anteriores. [41]

4.1.2 Preparação do objeto

As descargas disruptivas ocorridas num objeto de teste com isolamento externo podem ser afetadas pelo seu arranjo, isto é, existe uma necessidade de anular efeitos de proximidade, como a distância no ar relativa a outras estruturas em tensão ou ligadas à terra e altura a que esta se encontra relativamente ao nível do solo. [41]

Na figura 4.1 apresenta-se o gráfico que permite obter as distâncias necessárias entre o objeto e as estruturas energizadas ou ligadas à terra. A distância ao solo depende dos diferentes objetos a ensaiar, sendo descritas nos documentos normativos correspondentes. [41]

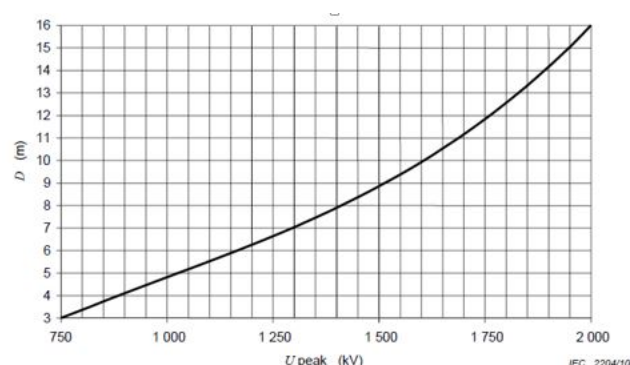


Figura 4.1: Gráfico que permite obter a distância mínima D necessária obter para os diferentes níveis de tensão.[41]

4.1.3 Tipologia de tensão

Neste caso, é realizada apenas uma análise para testes sujeitos a tensão alternada, como será visível mais adiante, é uma característica comum a todos os ensaios. [41]

Para ensaios realizados em tensão alternada, a frequência da onda de tensão deve estar situada numa gama de valores entre os 45Hz e os 65 Hz, sendo que esta onda deve-se aproximar o máximo possível de uma onda sinusoidal, podendo ter uma variação máxima de magnitude de 2% em relação ao seu pico positivo e negativo. [41]

Para ensaios com uma duração máxima de 60 segundos, deve ser garantido que o valor de tensão aplicado ao objeto em teste não tem uma variação superior a 1%. No caso de testes com durações superiores, a variação máxima permitida é de 3% em relação à tensão aplicada. [41] De salientar que a cronometração do ensaio só é iniciada a partir do momento que é atingida a tensão estipulada para este. A tensão deve ser elevada de uma forma controlada para evitar fenómenos, como por exemplo picos de corrente ou harmónicos, que desvirtuariam o ensaio. Desta forma, a tensão deve ser variada com um gradiente de 1kV/s, caso nada indique o contrário.

4.2 Inspeção de Varas e Tirantes

As varas e tirantes encontram-se no mesmo grupo de inspeções uma vez que o isolamento de ambos os equipamentos é realizado através do mesmo material, neste caso através de fibra de vidro plástico reforçado.

4.2.1 Inspeção visual

A inspeção visual tem duas funções distintas, numa primeira fase deteta possíveis defeitos visíveis na superfície do material de isolamento e á posteriori verifica se existe um funcionamento correto por parte dos equipamentos mecânicos constituintes das varas ou tirantes.

Na primeira etapa, verifica-se o estado superficial da vara, sendo realizada a inspeção de forma a procurar vestígios de pontos de perda de verniz, sendo que o estado crítico e que leva a uma não aprovação do equipamento verifica-se aquando a existência de numerosos pontos numa determinada área. Outro motivo de não aprovação do equipamento no ensaio passa pela existência de sulcos profundos que danifiquem consideravelmente a fibra de vidro ou então a existência de um desgaste uniforme e acentuado. Esta primeira etapa é idêntica em todos os equipamentos analisados nesta secção.

Na segunda etapa, isto é, relativamente à inspeção das ferramentas associadas a cada um dos equipamentos, a inspeção varia conforme as suas características. Em seguida apresentam-se os parâmetros de não conformidade para cada um dos equipamentos.

Vara para fixação de condutores

- Gancho rotativo: desgaste acentuado, cabeça do gancho não roda, fecho incompleto.
- Anel rotativo: Partido ou desgastado, o anel não roda, está solto.

Vara de gancho

- Gancho: não abre, não fecha completamente, não há coincidência entre a parte móvel e a respetiva esfera.
- A cabeça da vara apresenta fraturas.
- Manga de comando com funcionamento incorreto.

Vara de terminais universais

- Rosca miúda.
- Gancho duplo partido.

Vara para filaças

- Gancho rotativo: partido, pouca mobilidade (preso), fixação necessária partida.
- Lâmina: Partida, presa, fixação da lâmina solta.

Vara com grampo

- Grampo: desgastado, fecho incompleto;
- Tirante de comando com funcionamento correto.

Vara corta cabos

- Alicates de corte: fecho incompleto, estado das lâminas de corte e da fixação deste á cabeça.
- Guia do tirante sem danos.
- Alavanca de comando com funcionamento correto.

Vara corta filaças

- Alicates de corte: fecho incompleto, estado das lâminas de corte e da fixação deste á cabeça.
- Guia do tirante sem danos.
- Alavanca de comando com funcionamento correto.

Vara porta-chaves

- Encaixe da caixa de chaves amovível moído.
- Não basculação da caixa de chaves.

Tirante de grampo

- Grampo: desgastado, fecho incompleto;

Tirante de rolete

- Gancho rotativo: desgaste acentuado, cabeça do gancho não roda, fecho incompleto.
- Anel rotativo: Partido ou desgastado, anel não roda, ou encontra-se solto.

Tirante de amarração

- Chave de roquete: moída ou danificada.
- Macaco: Partido ou desgastado, extremidade de enroscar desgastada.
- Travessas das extremidades: danificadas.

Tirante Simétrico

- Desgaste na cavidade da manga.
- Desgaste no dispositivo de suporte.
- Macaco: Partido ou desgastado, extremidade de enroscar desgastada.

4.2.2 Ensaios dielétricos

O ensaio consiste na aplicação de uma tensão de 100kV r.m.s. à frequência industrial, durante aproximadamente 1 minuto. A aplicação desta tensão deve ser aplicada em elétrodo com um espaçamento entre estes de 300 milímetros, estas ligações podem ser vistas com mais detalhe na figura 4.2.

Relativamente à disposição do equipamento na estrutura de ensaio deve-se ter em atenção que a extremidade da vara ou tirante que contenha uma parte metálica deve ser disposto por forma a esta estar em contacto com a primeira travessa em que seja aplicada a tensão. [14] Os elétrodo utilizados na aplicação de tensão e da ligação à terra da peça em ensaio devem ter uma largura de pelo menos 5 milímetros.

Onde:

- A - Mesa de material isolante.
- B – Equipamento a ensaiar.
- C – Elétrodo.
- D – Metal de suporte.

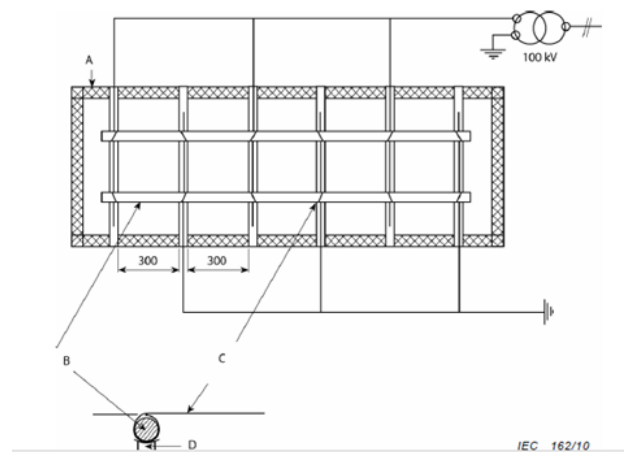


Figura 4.2: Esquema de ensaio para varas e tirantes.[14]

A estrutura descrita aplica-se a ensaios realizados para todos os tipos de varas e tirantes, com exceção aos tirantes de amarração em que tem de ser aplicada tensão apenas à cobertura isolante que compõe a travessa do lado da massa. O esquema de ensaio para este equipamento específico, é detalhado na figura 4.3. O eletrodo deve ser colocado de forma a não existir uma distância superior a 50 mm entre este e a parte metálica do equipamento. Este deve ser feito por uma rede de metal ou um tecido condutor. [14]

Neste ensaio a tensão que deve ser aplicada para testar o seu comportamento é de 20kV r.m.s., com a duração de 1 minuto. A tensão deve ser aumentada num gradiente de 5kV/s. [14]

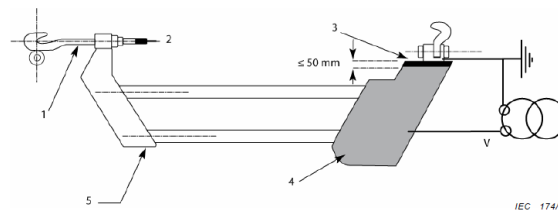


Figura 4.3: Esquema de ensaio para tirante de amarração.[14]

Onde:

- 1-Macaco.
- 2-Eixo de articulação.
- 3-Travessa com cobertura isolante do lado da massa.
- 4-Eletrodo feito de rede de metal ou tecido condutor.
- 5-Travessa do lado do condutor.

O equipamento, em ambos os casos, é aprovado neste teste se cumprir os seguintes parâmetros:[14]

- Não ocorrência de contornamento;
- Não ocorrência de escorvamento;
- Não ocorrência de perfuração;
- Nenhum sinal visual de criação de caminho ou erosão da superfície.
- Não existência de um aumento de temperatura superior a 2 graus, sendo que esta medição deve ser feita no máximo de 2 minutos após o teste e realizada através da utilização de uma camara termográfica devidamente calibrada para o efeito.

4.3 Inspeção de Protetores rígidos

4.3.1 Inspeção visual

A inspeção visual a um protetor rígido é efetuada para verificar a ocorrência ou não das seguintes anomalias no equipamento:

- Sulcos na superfície.
- Fissuras.
- Descloração.
- Fissuras na zona de fixação dos parafusos.
- Anel de pressão partido.

No caso da ocorrência de uma ou mais situações descritas anteriormente, considera-se que o equipamento não se encontra em condições para ser utilizado em tensão.

4.3.2 Ensaio dielétrico

Os ensaios dielétricos em protetores rígidos passa pela aplicação de uma tensão alternada que varia de acordo com a classe de proteção do respetivo equipamento. Na tabela 4.2 apresentamos os valores a utilizar para os ensaios. Neste caso, como se trata de um ensaio de rotina, tem a duração de 60 segundos.[28]

Para a realização deste ensaio, dispõem-se os protetores sobre um eletrodo de forma a simular o ambiente real da sua utilização. Ou seja, para a realização do ensaio dielétrico é necessário reproduzir uma linha elétrica em laboratório. Os valores passíveis de utilização para o diametro poderão ser os seguintes 4.0mm, 6.5mm, 10.0mm, 15.0mm, 22.0mm, 32.0mm, 45mm.

No arranjo dos protetores é de salientar que no caso do ensaio se referir a protetores de condutor, existe a necessidade de ter em cada extremidade 150mm de condutor que não esteja coberto pelo protetor.[28] A figura 4.4, exemplifica esta condicionante.

Tabela 4.2: Tensão de ensaio correspondente à classe de isolamento do protetor.

Classe	Tensão de ensaio (kV r.m.s.)
0	5
1	10
2	20
3	30
4	40
5	50

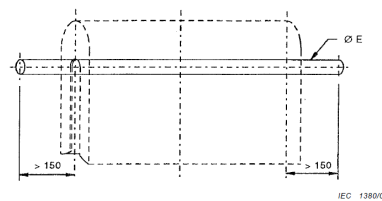


Figura 4.4: Exemplo de protetor colocado no condutor.[28]

Por fim é de salientar que para a realização deste ensaio é necessário acoplar dois protetores. Por exemplo, nos ensaios de protetores de condutor seria necessário recorrer a dois e ter a montagem visível na figura 4.5. [28]

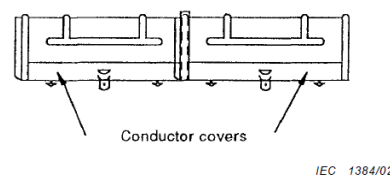


Figura 4.5: Exemplo de protetor colocado no condutor.[28]

Outro exemplo demonstrativo, é o caso de ensaios em protetores para isoladores rígidos, a montagem deve ser feita como é visível na figura 4.6.

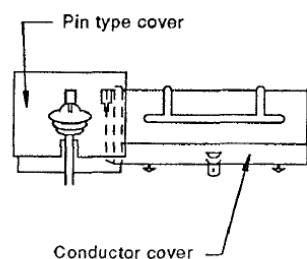


Figura 4.6: Exemplo de montagem para ensaio de protetor de isolador rígido.[28]

O equipamento é considerado como aprovado, caso não ocorra perfuração do material ou contornamento deste e se a montagem do equipamento ocorrer sem dificuldades.[28]

4.4 Inspeção de mantas

4.4.1 Inspeção visual

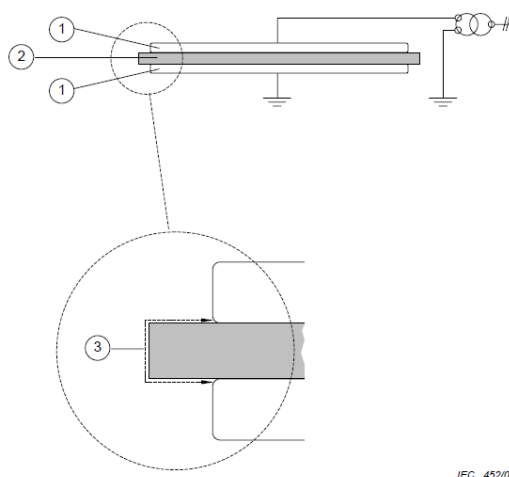
A inspeção visual neste tipo de equipamento pela verificação da existência de perfuração no material e marcas de desgaste.

Após esta avaliação é necessário verificar a durabilidade dos itens marcados na manta, sendo estes itens informações como a classificação da manta, a norma internacional que classifica o seu fabrico, neste caso a IEC 61112:2009, e a data da ultima inspeção. A avaliação é realizada através de dois processos, no primeiro é a zona da marcação é esfregada vigorosamente utilizado um pano, que não liberte fibras, embebido em água e sabão durante aproximadamente 15 segundos. Em seguida volta-se a esfregar, mas neste segundo processo o pano deverá estar embebido em isopropanol. [34]

O objeto em teste tem a inspeção visual aprovada, se não forem visíveis perfurações e se após o processo de verificação da durabilidade dos itens marcados, estes ainda forem legíveis e a tinta destes não tenha esborratado. [34]

4.4.2 Ensaio dielétrico

O ensaio dielétrico a efetuar, passa pela aplicação de uma tensão entre dois elétrodos, colocados respetivamente em cada uma das faces da manta a testar, como é visível na figura 4.7. Os elétrodos devem ser formados por duas placas condutoras com cantos e bordas arredondadas. [34]



IEC 452/09

Figura 4.7: Esquema de ensaio para mantas isoladoras.[34]

Onde:

- 1- Placa condutiva;
- 2- Manta a testar;
- 3- Distância entre elétrodos.

A tensão necessária a aplicar entre os elétrodos varia conforme a classe de isolamento do equipamento. Na tabela 4.3 são apresentados os diferentes valores de tensão.[34]

Tabela 4.3: Tensão de ensaio correspondente à classe de isolamento da manta.

Classe de isolamento	Tensão de ensaio r.m.s. (kV)
00	2.5
0	5
1	10
2	20
3	30
4	40

A duração do ensaio é de 60 segundos, uma vez que se tratam de ensaios de rotina, ao contrário dos testes que são necessários realizar após o fabrico em que a norma obriga a que o mesmo tipo de ensaio tenha a duração de três minutos. [34]

No ensaio a grande condicionante passa pela escolha correta do tamanho dos elétrodos, uma vez que é necessário respeitar distancias máximas entre estes, estas distâncias podem ser consultadas na tabela 4.4.[34] Esta distância entre elétrodos está representada na figura 4.7 pelo numero 3.

Tabela 4.4: Distância entre elétrodos em função classe de isolamento da manta.

Classe de isolamento	Distância entre elétrodos (mm)
00	10
0	20
1	80
2	150
3	200
4	300

O equipamento é considerado como aprovado, caso não ocorra perfuração do material ou uma descarga disruptiva.[34]

4.5 Inspeção de curto-circuitadores

4.5.1 Inspeção visual

Neste equipamento a inspeção visual passa pela análise do isolamento utilizado no cabo e pelo estado de funcionamento dos ligadores.

No caso dos ligadores é necessário verificar o funcionamento do anel de pressão e da maxila, sendo que caso o funcionamento de pelo menos de um destes equipamentos não seja correta ou se encontrem danificados leva à inutilização do curto-circuitador.

A inspeção ao cabo, consiste em verificar a integridade do isolamento, verificando desta forma a existência ou não de perfurações ou modificação da cor deste que significa um desgaste acentuado.

4.5.2 Ensaio dielétrico

O ensaio dielétrico dos curto-circuitadores passa por aplicar a tensão máxima a que este pode ser sujeito em termos técnicos e desta forma confirmar o seu isolamento. Uma das formas de realizar este ensaio passa por usar uma linha em cabo nu de alumínio onde é aplicado o equipamento, no entanto o cabo que constitui o equipamento deve estar dentro de uma cuba cheia de água, estando desta forma submerso. A cuba deve estar devidamente ligada à terra.

Os cuidados a ter neste ensaio passam, pela necessidade de evitar que os ligadores entrem em contacto durante o ensaio e que a parte do cabo que se encontra fora de água tenha sido devidamente humedecida antes do ensaio.

Este ensaio tem a duração de 60 segundos, onde é aplicada uma tensão de 45 kV r.m.s.

O equipamento é aprovado se não ocorrerem fissuras no isolamento, perfurações que provocam caminhos de fuga, e contornamentos.

4.6 Inspeção de luvas

4.6.1 Inspeção visual

A inspeção visual da luva passa pela procura de possíveis fissuras, riscos, furos ou processos de degradação na ferramenta. Esta inspeção deve ser efetuada após a limpeza do equipamento utilizando para tal produtos neutros, nunca utilizando produtos com derivados do petróleo. [37]

4.6.2 Ensaio dielétrico

O objetivo do ensaio dielétrico, neste tipo de equipamento, passa pela aplicação de uma tensão estipulada, consoante a classe de isolamento, e a medição da corrente de fuga com especial incidência no instante final do ensaio, tendo o teste a duração de 60 segundos. Os valores permitidos de correntes de fuga neste tipo de equipamento variam consoante o seu índice de proteção, estes valores encontram-se descritos na tabela 4.5. Caso o valor máximo da corrente de fuga seja

ultrapassado, considera-se que o equipamento não se encontra conforme, isto é, não cumpre os requisitos mínimos de isolamento e desta forma deve ser retirado de serviço.[37]

Classe	Tensão aplicada A.C., (kV r.m.s.)	Corrente de fuga máxima admissível (mA)			
		Comprimento da luva mm			
		280	360	410	Maior igual 460
00	2.5	10	12	N/A	N/A
0	5	10	12	14	16
1	10	N/A	14	16	18
2	20	N/A	16	18	20
3	30	N/A	18	20	22
4	40	N/A	N/A	22	24

Tabela 4.5: Valores de tensão aplicado e corrente de fugas máxima admissível em função da classe de isolamento .[37]

O ensaio dielétrico deve ocorrer, sensivelmente, 24 horas após a limpeza da luva uma vez que para a secagem desta não se deve recorrer a estufas. [37]

O arranjo relativo ao ensaio passa pela imersão parcial da luva em água numa cuba destinada para o efeito. A quantidade de luva não imersa, representado por D na figura 4.8, está dependente da classe de isolamento desta. Estes valores estão descritos na tabela 4.6.[37]

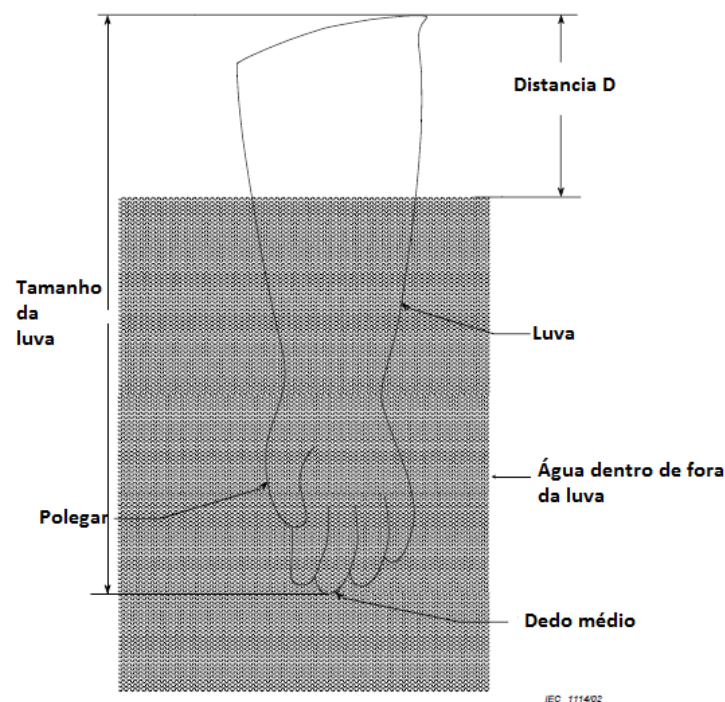


Figura 4.8: Arranjo para ensaio de luva isolante.[37]

Nesta montagem um dos pontos fundamentais, para além da distância D referida anteriormente passa pela necessidade de o nível de água existente no interior da luva coincidir com o nível de

Tabela 4.6: Quantidade de luva não imersa em função da classe de isolamento.

Classe de isolamento	Distancia D (mm)
00	40
0	40
1	40
2	60
3	90
4	130

água fora desta, sendo permitido um desnível de 13 milímetros. Outro aspeto importante incide no facto de que a parte da luva que se encontra acima da água deve estar rigorosamente seca. Por fim de salientar, que o suporte da luva deve ser feito recorrendo a uma estrutura de material isolante, para que o eléctrodo colocado no interior da luva aplique a tensão uniformemente por toda a superfície desta. Assim, um possível esquema de ensaio é visível na figura 4.9.[37]

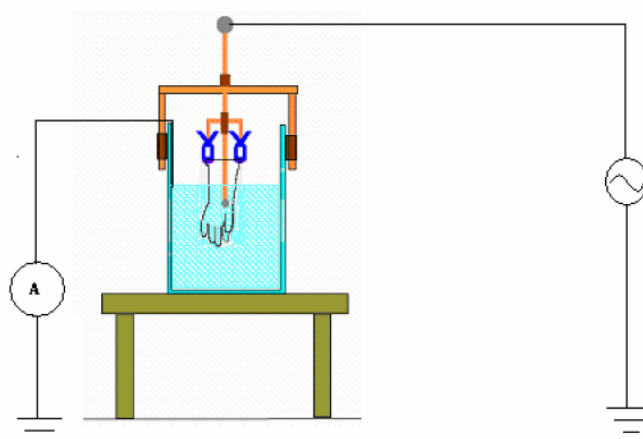


Figura 4.9: Esquema possível para ensaio de luva isolante.[37]

4.7 Inspeção de Escadas

4.7.1 Inspeção visual

A inspeção visual deste tipo de equipamento, passa pela procura de fissuras críticas nos diferentes níveis da escada, ou sulcos que tenham danificado o isolamento. [38]

4.7.2 Ensaio dielétrico

O ensaio dielétrico consiste na aplicação de uma tensão U_m , entre dois patamares contínuos da escada. O valor de tensão a utilizar depende da tipologia de escada, isto é, tratando-se de uma

escada de elementos de encaixar ou uma escada isolante com ganchos. O valor é então dado pela seguinte expressão: [38]

$$U_m = \frac{U_0 * d}{300} \quad (4.9)$$

Onde:

- d – distancia entre “andares” (visível na figura 4.10)
- U_0 igual a 30kV no caso de escadas de elementos de encaixar ou 100kV no caso de escadas isolantes com gancho.

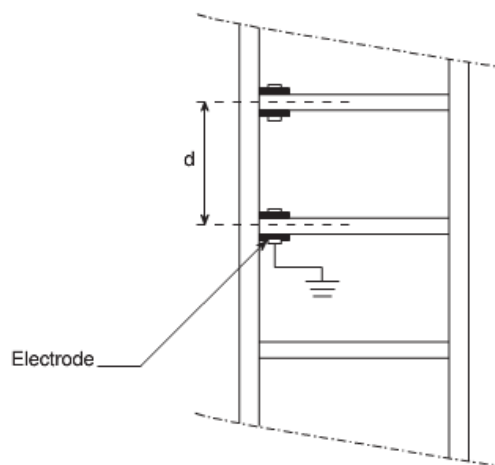


Figura 4.10: Esquema de ensaio para escadas isolantes.[38]

Este ensaio deve ser realizado repetitivamente entre cada par de “andares” das escadas por forma a realizar uma inspeção total do equipamento. Os elétrodos aplicados devem ter uma largura de pelo menos 50 mm. [38]

Relativamente aos critérios de passagem no teste, este ocorre quando não existe um contornamento, perfuração ou aumento significativo da temperatura do equipamento e a corrente de fuga não ultrapassa os 0.5 A. [38]

4.8 Resumo

Deste capítulo retiramos que os ensaios de alta tensão são condicionados pela componente climática e, desta forma, torna-se indispensável aplicar os fatores de correção para que os ensaios sejam validados. Ao realizar as correções torna-se possível validar os ensaios e os seus resultados em qualquer outro laboratório que cumpra as normas internacionais que regem os diferentes testes.

As inspeções em equipamento para TET encontra-se divididas em duas etapas de avaliação. Na primeira etapa, realiza-se uma inspeção visual do equipamento. A segunda etapa da inspeção passa pela realização de um ensaio dielétrico. De notar que o equipamento só é considerado aprovado caso ultrapasse com sucesso as duas avaliações a que é sujeito.

Capítulo 5

Laboratório de Alta Tensão – FEUP

Neste capítulo pretende-se realizar uma descrição do laboratório de alta tensão. Apresentar-se-ão as características de segurança e o equipamento existente no LAT. Este capítulo é indispensável, uma vez que um dos objetivos do trabalho passou pelo acompanhamento das obras do LAT e pela realização da montagem e colocação de todo o equipamento.

Na estrutura de segurança do LAT serão analisados os seguintes parâmetros:

- Proteção passiva;
- Proteção ativa.

Relativamente aos equipamentos existentes no LAT estes serão divididos em dois grupos:

- Equipamento utilizado nos ensaios à frequência industrial;
- Equipamento utilizado nos ensaios ao choque.

No entanto, será dada uma maior relevância aos equipamentos essenciais para a realização dos ensaios dielétricos necessários nas inspeções periódicas, nomeadamente os utilizados nos ensaios à frequência industrial.

5.1 Proteção passiva

A proteção passiva do laboratório passa por medidas construtivas realizadas de forma a diminuir os riscos elétricos inerentes aos ensaios de alta tensão. Estas medidas centraram-se em:

- Revestimento interior do LAT;
- Criação de Barramentos;
- Terras de proteção.

5.1.1 Revestimento interior

Para uma correta blindagem do LAT foi necessário realizar um revestimento parcial da sua estrutura, particularmente das paredes e do chão.

As paredes do LAT têm uma altura de aproximadamente 12 metros e são constituídas por betão até aos 8 metros, sendo a restante parte constituída por uma estrutura metálica. Desta forma, as paredes formadas por betão foram revestidas por chapas zincadas de 1.5 milímetros de espessura, visível na figura 5.1, de forma a blindar esta parte do edifício.



Figura 5.1: Aspeto da parede coberta por chapa.

Relativamente à estrutura metálica, esta foi ligada ao barramento de forma a promover um isolamento, visível na figura 5.2. Esta ligação entre a estrutura metálica e o barramento superior foi efetuada em diversos pontos da estrutura, de forma a promover um correto isolamento.

De salientar que as chapas que realizam a cobertura da parede em betão estão ligadas entre si através de soldaduras, para promover uma correta ligação elétrica.



Figura 5.2: Ligação da estrutura metálica ao barramento.

O chão do edifício foi também devidamente isolado, efetuando para tal um revestimento total do mesmo, através da utilização de chapas zincadas com uma espessura de 2.5 milímetros, visível na figura 5.3.



Figura 5.3: Colocação das chapas de zinco de cobertura do chão.

Esta blindagem realizada através destas chapas torna-se possível uma vez que estas se encontram ligadas ao barramento, em diversos pontos do edifício de forma a garantir uma correta blindagem, figura 5.4.



Figura 5.4: Ligação das chapas de blindagem (parede e chão) ao barramento.

Relativamente ao portão do laboratório, bem como as janelas e portas da sala de comando e da sala de observação, foram blindadas através de uma rede de zinco com espaçamentos de 5 * 5 cm, devidamente ligada ao barramento, figura 5.5.



Figura 5.5: Aspeto do portão e janelas isoladas pela grande protetora.

5.1.2 Barramento

No LAT existem dois barramentos anelares, que formam um anel em torno da estrutura do edifício. O primeiro e o mais importante, trata-se de um barramento composto por barras de cobre com uma secção de 5×50 mm, figura 5.6. Este barramento é considerado o principal, uma vez que é neste que estão ligadas as terras de proteção.



Figura 5.6: Barramento principal.

Este barramento encontra-se fixado à parede do LAT através de isoladores, figura 5.7. No entanto na zona localizada junto ao portão de acesso, o barramento encontra-se assente no chão, existindo uma tinta isoladora entre este e a chapa de forma a não existir um contacto directo entre as chapas zincadas e o barramento. Outro aspeto a ter em conta é a existência de locais devidamente concebidos na estrutura, para permitir a ligação de terras dos diferentes equipamentos e das estruturas para implementar os diferentes esquemas de ensaio.



Figura 5.7: Isolador de suporte do barramento.

O barramento secundário encontra-se situado no início da estrutura metálica do LAT. Este é formado por um cabo de cobre com uma seção de 10mm^2 , figura 5.8



Figura 5.8: Barramento superior.

Este barramento encontra-se ligado ao principal através de baixadas, visíveis na figura 5.9. As baixadas são realizadas por cabos de cobre em diferentes locais da estrutura, com o objetivo de realizar uma conexão correta de forma a obter-se uma impedância global idêntica.



Figura 5.9: Baixada de ligação entre barramentos.

5.1.3 Terras de Proteção

A terra de proteção do LAT é formada pela ligação entre três terras distintas, visíveis na figura 5.10. É constituída pela terra de proteção original do edifício, pela terra secundária criada exclusivamente para o laboratório e pela terra de proteção do PT que alimenta energeticamente o LAT. A primeira, a mais importante, trata-se da terra que foi criada aquando da construção do edifício. Esta terra de proteção utiliza elétrodos do tipo malha, que cria uma rede entre as fundações do edifício, o que favorece a distribuição do potencial. Por outro lado, a terra secundária, utiliza um elétrodo do tipo fundação. É de salientar a qualidade da terra de proteção do tipo malha, uma vez que na última medição da sua resistividade apresentou um valor de 0.7 ohms.

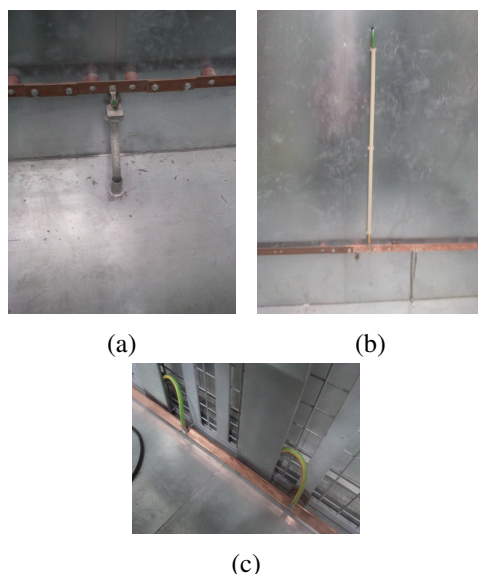


Figura 5.10: Figura 5.10a terra principal ; figura 5.10b terra secundária; figura 5.10c terra do PT

5.2 Medidas ativas

As medidas ativas de proteção no LAT surgem essencialmente para evitar que os utilizadores possam tomar ações que os coloquem em perigo de morte, nomeadamente entrada nestes na sala de ensaios no decurso de um teste. Outro motivo para o surgimento destas medidas, passa pelo facto de o LAT apenas ter capacidade física para a ocorrência de um tipo de ensaio de cada vez. Caso seja realizado um ensaio à frequência industrial ou o ensaio ao choque, as distâncias mínimas de proteção entre equipamentos não permite que sejam realizados em simultâneo. Estas distâncias são obtidas através do gráfico da figura 4.1 visível no capítulo 4.

Para utilizar a capacidade máxima do transformador teríamos obrigatoriamente que criar um espaçamento em torno deste pelo menos 2,4 metros em relação às paredes e outros 2,4 metros em relação ao seu divisor de tensão. No caso da torre de choque, as distâncias seriam de 2,4 metros em torno da torre e de 4 metros em torno do seu divisor de tensão. Estas distâncias previnem o aparecimento de descargas disruptivas entre pontos que se encontrem a potenciais diferentes.

Desta forma, existe a necessidade técnica de inutilizar os restantes equipamentos aquando da utilização de um dos sistemas de ensaio.

As medidas de proteção estão implementadas no quadro de comando, figura 5.11, através de relés e contactores que estão associados através de condições lógicas. De salientar que dentro do grupo de contactores existem dois sensores de fecho que se encontram associados à porta de acesso à sala de comando e ao portão de entrada no LAT. Estes sensores têm como objetivo interromper a alimentação dos equipamentos, caso ocorra a abertura da porta ou do portão no decorrer de um ensaio.

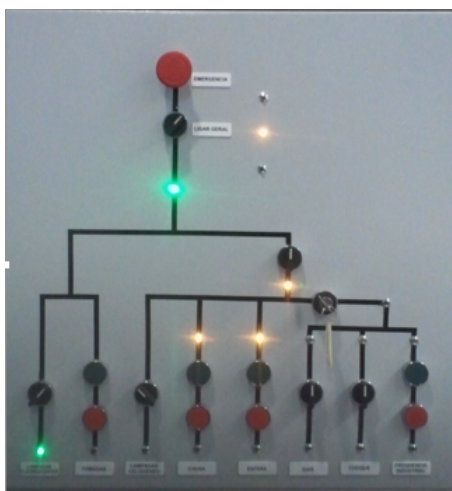


Figura 5.11: Quadro de comando.

O comando encontra-se dividido em três níveis de segurança. O primeiro, o nível com menor grau de segurança permite a utilização das tomadas de apoio à sala de ensaio e da iluminação através das armaduras fluorescentes existentes no topo do LAT. Neste nível de segurança existe a possibilidade de tanto o portão de entrada do LAT como a porta para a sala de comando se encontrarem abertas.

O segundo nível de segurança permite realizar a alimentação de alguns equipamentos, nomeadamente: o comando do gerador de choque, o comando das esferas de calibração e os projetores de halogénio. Para aceder a este nível, torna-se necessário que o portão de acesso ao LAT se encontre fechado e que os equipamentos sejam ativados no quadro de comando. De salientar que para realizar a alimentação do comando do gerador de choque é necessário ultrapassar um subnível de segurança, que consiste na ativação do mesmo através de uma chave.

No terceiro nível de segurança surge a permissão para realizar os ensaios de alta tensão e, desta forma, é permitido a alimentação do gerador de choque e do transformador. No entanto, é restringida a utilização destes, uma vez que só é permitido a utilização de apenas um dos equipamentos durante cada ensaio, como referido anteriormente. Neste nível de segurança, tanto o portão de acesso ao LAT como a porta da sala de comando têm de estar obrigatoriamente fechadas. Apenas desta forma é que existe permissão para ativar os equipamentos a partir do quadro.

Deve-se ter atenção que ao ultrapassar os diferentes níveis de segurança o equipamento que seria possível utilizar no nível anterior deixa de estar alimentado. Com exceção do equipamento alimentado no subnível do nível 2, que continua válido no nível 3.

5.3 Equipamentos

Neste subcapítulo serão apresentados os equipamentos existentes no LAT, estando estes divididos em dois sistemas de ensaio: os equipamentos para ensaio ao choque e os equipamentos de ensaio à frequência industrial. Tal como já foi referido, será dado maior ênfase ao equipamento de ensaio à frequência industrial, uma vez que se trata do equipamento utilizado para os ensaios dielétricos.

5.3.1 Equipamento de ensaio à frequência industrial

O sistema de ensaio à frequência industrial é composto por quatro unidades, sendo estas, o transformador, o divisor de tensão, o regulador e o controlador.

O transformador da marca Phenix, visível na figura 5.12, é um equipamento que produz uma potência máxima de 300kVA, atingindo uma tensão máxima de ensaio de 600kV.

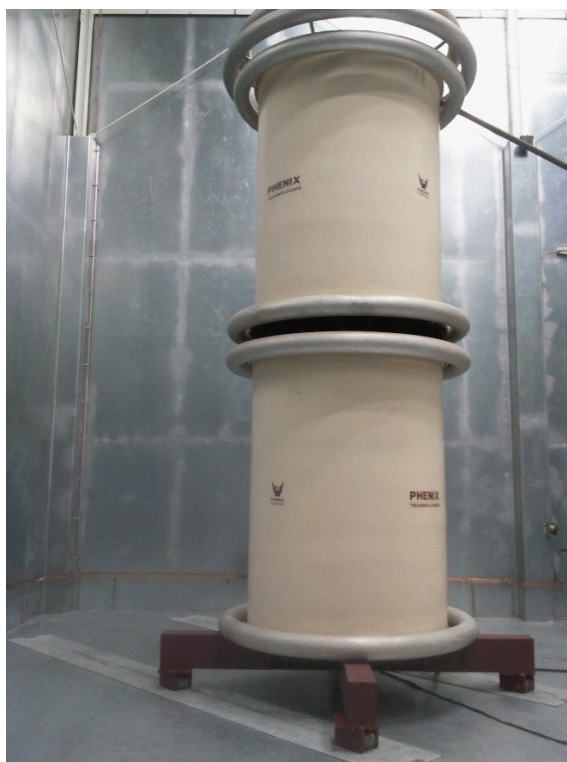
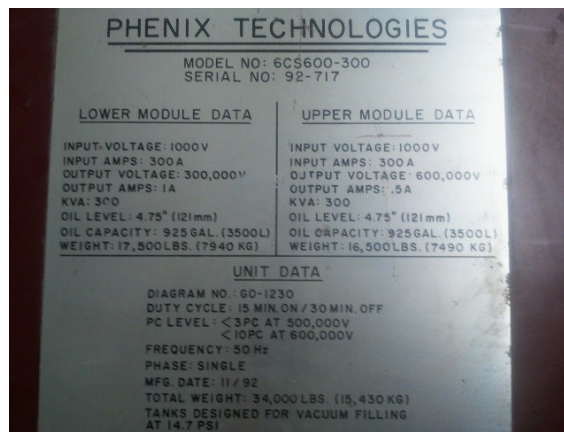


Figura 5.12: Transformador existente no LAT.

Este valor de tensão está dividido pelos dois módulos do transformador, que se encontram interligados através de uma conexão, que permite em caso de necessidade utilizar apenas um módulo e realizar ensaios até 300kV. Outro parâmetro de saída, para além da tensão, que é necessário realçar é o valor da corrente, que para os 600kV tem uma intensidade de 0.5A.



PHENIX TECHNOLOGIES	
MODEL NO: 6CS600-300 SERIAL NO: 92-717	
LOWER MODULE DATA	UPPER MODULE DATA
INPUT VOLTAGE: 1000V	INPUT VOLTAGE: 1000V
INPUT AMPS: 300A	INPUT AMPS: 300A
OUTPUT VOLTAGE: 300,000V	OUTPUT VOLTAGE: 600,000V
OUTPUT AMPS: 1A	OUTPUT AMPS: .5A
KVA: 300	KVA: 300
OIL LEVEL: 4.75" (121mm)	OIL LEVEL: 4.75" (121mm)
OIL CAPACITY: 925 GAL (3500L)	OIL CAPACITY: 925 GAL (3500L)
WEIGHT: 17,500LBS (7940 KG)	WEIGHT: 16,500LBS (7490 KG)
UNIT DATA	
DIAGRAM NO.: 60-1230	
DUTY CYCLE: 15 MIN. ON / 30 MIN. OFF	
PC LEVEL: < 3PC AT 500,000V	
< 10PC AT 600,000V	
FREQUENCY: 50 Hz	
PHASE: SINGLE	
MFG. DATE: 11 / 92	
TOTAL WEIGHT: 34,000LBS (15,430 KG)	
TANKS DESIGNED FOR VACUUM FILLING AT 14.7 PSI	

Figura 5.13: Chapa de características do transformador.

O divisor de tensão tem como objetivo transformar a tensão aplicada pelo transformador numa tensão que seja passível de realizar uma medição segura, figura 5.14



Figura 5.14: Divisor de tensão.

O divisor apresenta uma potência de 23kVA, quando colocado a uma tensão de 600kV a uma frequência de 50Hz e uma capacidade ao nível dos seus condensadores de 200 pF.

O regulador, figura 5.15a, é o equipamento de onde sai a alimentação do transformador, sendo o seu funcionamento semelhante ao de um autotransformador. Este é regulado através do controlador, visível na figura 5.15b, sendo este controlado pelo operador.



(a)



(b)

Figura 5.15: Figura 5.15a o regulador; figura 5.15b o aparelho de comando.

Por fim, o último aparelho que está associado ao equipamento para ensaios à frequência industrial são as esferas de calibração, figura 5.16. Estas esferas de calibração tal como o nome indica, tem o objetivo de permitir a realização de uma calibração dos valores apresentados no voltímetro do controlador. Este equipamento é constituído por duas esferas principais de cobre com um diâmetro de 75cm. Uma das esferas encontra-se acoplada a um equipamento que permite realizar uma deslocação vertical desta, sendo que este mecanismo de deslocamento é ativado através de um motor que permite realizar deslocações precisas, nomeadamente numa escala de milímetros. A outra esfera encontra-se acoplada a uma semiesfera de alumínio que se encontra suspensa.



Figura 5.16: Aspeto da montagem das esferas de calibração.

No entanto, este equipamento só é utilizado com uma periodicidade de 6 meses, por forma a verificar o estado da calibração e em caso de necessidade realizar a mesma.

Para realizar esta calibração, torna-se necessário recorrer à norma IEC 60052, que estipula os critérios de ensaio, no que respeita à distância a que ocorrerá o contornamento entre as duas esferas em função da tensão aplicada.

5.3.2 Equipamento de ensaio ao choque

Para os ensaios ao choque, no LAT, existe um gerador de choque da marca Haefely composto por cinco elementos, sendo eles: a torre de gerador de impulso, o divisor de tensão, uma unidade de alimentação da torre, uma unidade de controlo e uma unidade de análise. Este gerador de choque tem a capacidade de produzir uma onda de frente rápida e normalizada ($1,2/50 \mu s$) com uma tensão máxima de 1200kV.

Relativamente à torre de gerador de impulso, figura 5.17, esta é composta por doze andares, em que cada andar contém um condensador de $75\mu F$ com capacidade de acumular até 100 kV. Em cada andar existe a possibilidade de serem colocadas três resistências, a resistência de carga e duas resistências de paralelo, apresentando estas valores diferentes com o objetivo de controlar a forma de onda aplicada. Em cada andar existem também duas esferas de descarga que são utilizadas para realizar as descargas de cada andar. Por fim, no topo da torre está conectada uma resistência externa que faz a ligação entre esta e o divisor de tensão.



Figura 5.17: Aspeto da torre de choque.

O divisor de tensão, tal como o utilizado no transformador, tem como objetivo possibilitar a medição da tensão a que ocorre a descarga. No modelo existente no LAT, figura 5.18, os seus

condensadores internos apresentam uma capacidade de 1200 pF.



Figura 5.18: Divisor de tensão do gerador de choque.

A unidade de alimentação da torre, figura 5.19, é uma unidade de retificação que é responsável pela geração de alta tensão e, consequentemente, pelo carregamento dos condensadores. É esta unidade que é alimentada através do quadro de comando do LAT.



Figura 5.19: Unidade de alimentação.

A unidade de controlo deste equipamento, figura 5.20, é a unidade que permite estipular a tensão de ensaio pretendida, bem como a velocidade do carregamento dos condensadores. Esta unidade transmite a informação à unidade de alimentação para ativar o carregamento dos condensadores, bem como o momento do disparo, que pode ser manual ou automático.

Por último, a unidade de análise, denominada Sistema Digital de Análise do Impulso (DIAS), visível na figura 5.20, é o equipamento que realiza a análise dos valores obtidos através do divisor

de tensão, nomeadamente a forma de onda da tensão, o valor do tempo de subida e descida da onda, o valor da tensão máxima, entre outros aspetos. De salientar que é a partir da alteração dos valores da tensão na unidade de controlo que o DIAS atua sobre um mecanismo existente na torre, que altera as distâncias entre as esferas explosoras de cada um dos andares.



Figura 5.20: Unidade de comando e DIAS.

5.3.3 Disposição do equipamento

A localização do equipamento de teste no LAT é apresentada na figura 5.21. O laboratório encontra-se dividido em quatro quadrantes, estando os equipamentos de ensaio à frequência industrial no canto oposto ao do gerador de choque para que, aquando da utilização de um destes, o outro possa ser recolhido de forma a obter-se uma maior separação.

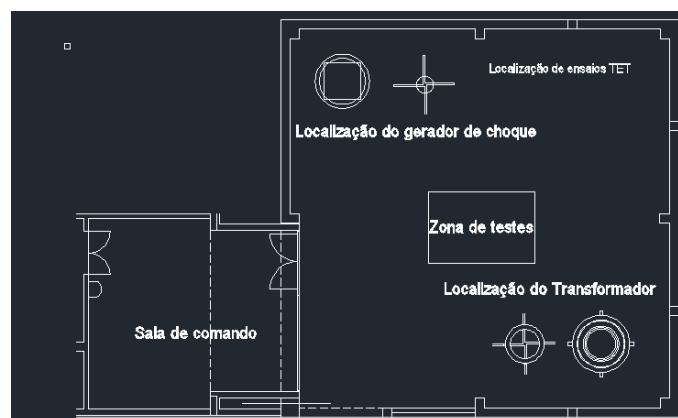


Figura 5.21: Disposição do equipamento no LAT-FEUP.

5.4 Resumo

Na utilização das instalações do LAT torna-se necessário um conhecimento sobre as medidas de segurança existentes, de forma a poder manobrar o equipamento e proceder às diferentes tarefas/ensaios com todas as precauções necessárias que um trabalho que envolva alta tensão assim o obriga.

Para além do conhecimento das medidas de segurança é necessário ter um conhecimento detalhado das condicionantes normativas para os ensaios, nomeadamente as existentes na norma IEC 60060, relativas às distâncias necessárias entre equipamentos em função da tensão.

Por fim, tendo em conta os equipamentos existentes e as suas características, verificamos que se torna possível a realização de ensaios de rigidez dielétrica dos seguintes equipamentos:

- Equipamentos TET;
- Isoladores;
- Transformadores;
- Cabos;
- Disjuntores.

Capítulo 6

Implementação dos ensaios dielétricos

O presente capítulo tem como objetivo realizar a demonstração da implementação dos ensaios dielétricos no LAT. Desta forma, serão apresentados e detalhados os ensaios realizados nas diferentes tipologias de equipamento para TET, bem como as condições criadas para cumprir os requisitos normativos, nomeadamente os esquemas de ensaio.

6.1 Calibração do transformador

Antes da realização dos ensaios dielétricos torna-se necessário verificar a calibração do equipamento a utilizar, sendo neste caso o transformador e o respetivo divisor de tensão que permitem realizar os ensaios à frequência industrial.

A calibração é realizada recorrendo a norma IEC 60052 – “*Voltage measurement by means of standard air gaps*” que estipula a tipologia de ensaio a realizar, utilizando para tal as esferas de calibração.

Este ensaio de verificação da calibração consiste no estabelecimento de uma relação entre a tensão existente no circuito de teste, sendo que esta está relacionada com a distância entre esferas e a tensão observada no equipamento de controlo do transformador. O valor de tensão obtido no equipamento de controlo é o valor no qual existe o escorvamento entre as duas esferas, ou seja, quando ocorre uma descarga disruptiva entre estas.[42] Os valores de relação entre a tensão e a distância entre esferas são visíveis no anexo A. Na figura 6.1 é visível um exemplo da distância acima descrita, para uma melhor perceção.

O processo de ensaio consiste na aplicação sucessiva de 10 descargas disruptivas, sendo que o intervalo entre cada aplicação não deve ser superior a 30 segundos. Para validação deste processo é necessário obter o valor médio dos 10 ensaios e os valores obtidos não podem ter um desvio superior a 1%, em relação ao valor médio calculado.

Neste caso, como as tensões a aplicar nos diferentes ensaios dielétricos não ultrapassam os 100kV, optou-se por verificar a calibração dos instrumentos de medida para vários níveis de tensão uma vez que o transformador tem uma capacidade máxima de 600kV e, desta forma, estamos



Figura 6.1: Exemplo da medição da distância entre esferas.

apenas a utilizar uma percentagem reduzida da sua capacidade. Assim, realizaram-se os ensaios para os seguintes valores de tensão (r.m.s.): 205kV, 115kV, 97kV.

6.1.1 Circuito de ensaio

O equipamento utilizado para o circuito de ensaio passou pelo sistema de ensaio à frequência industrial e pelo sistema das esferas de calibração.

Um dos aspetos importantes neste circuito de ensaio é a necessidade de utilizar uma resistência que pode variar entre os $0.1\text{M}\Omega$ e os $1\text{M}\Omega$, para efetuar a conexão entre o transformador e a esfera. Esta resistência permite a aplicação da tensão de ensaio na esfera superior por parte do transformador e evita o aparecimento de oscilações de tensão sobrepostas, que poderiam provocar descargas disruptivas erráticas.

Outro aspecto a salientar, consiste numa correta ligação das terras de proteção ao barramento do LAT, onde se deve privilegiar a utilização de um ponto comum para todos os equipamentos. Desta forma, optou-se por realizar a conexão das diferentes terras de proteção, nomeadamente do divisor de tensão, do equipamento de ajuste da esfera inferior e do transformador ao barramento de terra, existente no próprio transformador e deste ao barramento do LAT.

Por fim, de realçar a ligação entre o transformador e o divisor de tensão. Esta é realizada através da colocação de um tubo metálico entre os toróides superiores do transformador e os toróides do divisor, uma vez que os primeiros estarão à tensão de ensaio e, desta forma, colocamos

os equipamentos ao mesmo potencial. Na figura 6.2 é possível visualizar a montagem final do circuito de teste.



Figura 6.2: Esquema de ensaio realizado para a verificação da calibração do transformador.

6.1.2 Resultados da Calibração

A primeira série de testes foi realizada de forma a testar uma tensão mais elevada. Assim, selecionou-se uma distância entre as esferas de 11cm que corresponde à ocorrência de escorvamento a uma tensão de 205kV (r.m.s.). O valor da distância entre as esferas depende do diâmetro destas, sendo que neste caso as esferas existentes no LAT têm um diâmetro de 75cm. Os valores obtidos da tensão de escorvamento para os 10 ensaios sucessivos são apresentados na tabela 6.1. No entanto, a estes valores foi necessário aplicar os fatores de correção da densidade de ar (k_1) e o fator de correção da humidade (k_2), visto que não eram cumpridos os valores de referência. Os valores existentes no LAT, quando a realização dos ensaios eram os seguintes:

- **Temperatura de referência:** $t_0 = 19^\circ\text{C}$
- **Pressão atmosférica absoluta:** $p_0 = 1006 \text{ mbar}$
- **Humidade absoluta:** $h_0 = 7.8 \text{ g/m}^3$

Assim, após a aplicação do método de cálculo dos fatores de correção, descrito anteriormente, obtiveram-se os seguintes valores:

O passo seguinte passou pela verificação do desvio percentual dos valores obtidos nas 10 repetições e o valor médio calculado. Para a realização do cálculo da média foi usada a expressão

Ensaio nº	Tensão obtida kV (r.m.s.)	Tensão corrigida kV (r.m.s.)
1	205	208,5
2	202	205,4
3	199	202,4
4	202	205,4
5	200	203,4
6	203	206,4
7	200	203,4
8	205	208,5
9	204	207,5
10	200	203,4

Tabela 6.1: Resultados obtidos do ensaio antes e depois de aplicado os fatores de correção.

6.1 e para o cálculo do desvio percentual foi utilizada a expressão 6.2, estando os resultados visíveis na tabela 6.2.

$$U_{mdio} = \frac{\sum_{k=1}^n U_k}{n} \quad (6.1)$$

$$Desvio_{percentual} = \frac{|U_{mdio} - U_{obtido}|}{U_{mdio}} * 100 \quad (6.2)$$

Tensão media 205,48	
Ensaio nº	Desvio percentual (%)
1	0,0148
2	1,38E-16
3	0,0148
4	1,38E-16
5	0,0099
6	0,00495
7	0,009901
8	0,014851
9	0,009901
10	0,009901

Tabela 6.2: Resultados obtidos para o cálculo do desvio percentual.

Como é possível verificar, os valores encontram-se dentro do padrão, ou seja, com um desvio percentual inferior a 1%. Para além do cumprimento deste parâmetro, verifica-se que o valor obtido da tensão média tem uma diferença inferior a 3%, nomeadamente 0.2% em relação ao valor esperado e, desta forma, cumpre os requisitos.

Para as outras tensões, o processo foi idêntico, sendo que as distâncias entre as esferas foram de 6cm e 5 cm para os valores de tensão de 115kV e 97kV, respetivamente. Os valores obtidos nos dois ensaios são apresentados nas tabelas 6.3 e 6.4.

Ensaio para distância entre esferas de 6cm.				
Ensaio nº	Tensão obtida kV (r.m.s.)	Tensão corrigida kV (r.m.s.)	Tensão média kV (r.m.s.)	Desvio percentual (%)
1	115	116,9	117,1	0,001
2	116	117,9		0,006
3	116	117,9		0,006
4	114	115,9		0,010
5	113	114,9		0,019
6	117	119		0,015
7	114	115,9		0,010
8	115	116,9		0,001
9	116	117,9		0,006
10	116	117,9		0,006

Tabela 6.3: Resultados obtidos para o cálculo do desvio percentual para o ensaio com as esferas a 6cm de distância.

Ensaio para distância entre esferas de 5cm.				
Ensaio nº	Tensão obtida kV (r.m.s.)	Tensão corrigida kV (r.m.s.)	Tensão média kV (r.m.s.)	Desvio percentual (%)
1	96	97,6	98,3	0,007
2	97	98,6		0,003
3	97	98,6		0,003
4	95	96,6		0,017
5	98	99,6		0,013
6	97	98,6		0,003
7	96	97,6		0,007
8	97	98,6		0,003
9	96	97,6		0,007
10	98	99,6		0,013

Tabela 6.4: Resultados obtidos para o cálculo do desvio percentual para o ensaio com as esferas a 5cm de distância.

Da análise dos resultados obtidos, verifica-se que a calibração para as tensões de 115kV e 97kV encontram-se dentro dos padrões estipulados, cumprindo os dois critérios necessários. Não se obteve um desvio percentual superior a 1% entre a tensão de cada repetição do ensaio e a tensão média obtida. O valor obtido da tensão média tem uma diferença inferior a 3% em relação à tensão de escorvamento esperada. Para o ensaio com as esferas a uma distância de 6cm o desvio percentual foi de 1.05% e para o ensaio com uma distância entre esferas de 5cm ocorreu um desvio percentual na ordem dos 0.8%.

6.2 Ensaio dielétrico de varas isolantes

Para a implementação dos ensaios dielétricos para varas e tirantes no LAT-FEUP recorreu-se a uma vara com grampo como objeto de ensaio.

A primeira etapa deste processo de implementação do ensaio no LAT consiste na criação da estrutura necessária para a realização deste tipo de ensaio, sendo neste caso uma mesa com características isolantes, tal como foi referido no subcapítulo 4.2.1. Para a criação desta estrutura recorreu-se a travessas de dexion, que permitiram criar uma base de sustentação, onde foram aplicadas duas categorias de isoladores que permitiram que a estrutura de dexion apresentasse características isolantes. A principal categoria de isoladores, sendo eles de araldite, permite efetuar um isolamento para um nível de tensão de 100kV, uma vez que é sobre estes isoladores que está assente o equipamento e os elétrodos que aplicam a tensão. O outro grupo de isoladores tem como objetivo isolar os elétrodos de terra da estrutura de dexion. Estes isoladores encontram-se interligados por forma a simular uma malha de terra. O aspeto final desta estrutura é visível na figura 6.3.

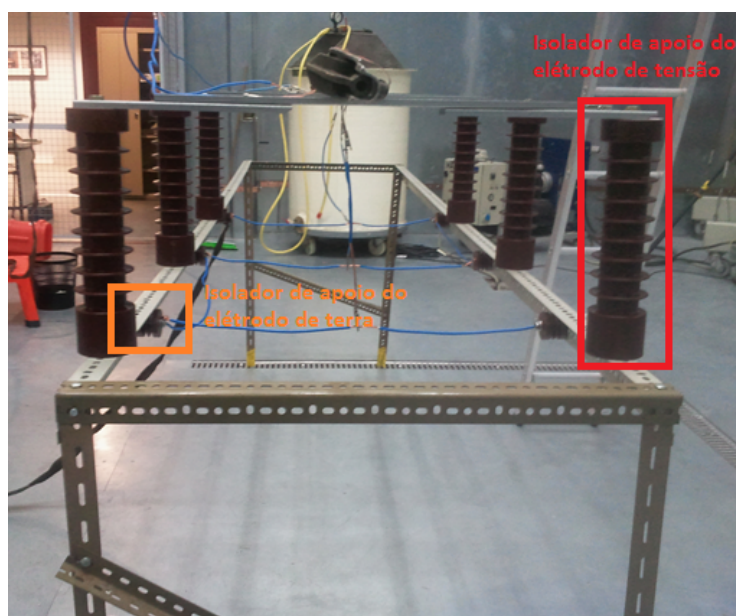


Figura 6.3: Aspeto final da estrutura de ensaio.

A disposição dos isoladores foi efetuada alternadamente por forma a obter-se um espaçamento de 30cm entre um eletrodo de tensão e um eletrodo de terra. De notar que neste esquema de ensaio existem 3 elétrodos de tensão e três elétrodos de terra.

A segunda etapa passou pela aplicação dos elétrodos à vara que se pretende ensaiar. Os elétrodos foram compostos por folhas de cobre com 1cm de largura e 1.5mm de espessura envolvendo a vara. Os elétrodos de terra que envolvem a vara encontram-se conectados à malha de terra.

A terceira etapa consiste nas ligações finais do equipamento. A ligação dos elétrodos de tensão ao cabo que efetua a alimentação deste circuito por parte do transformador e a ligação da manga de terra a um dos isoladores que suportam a malha de terra. Estas ligações encontram-se visíveis na figura 6.4.

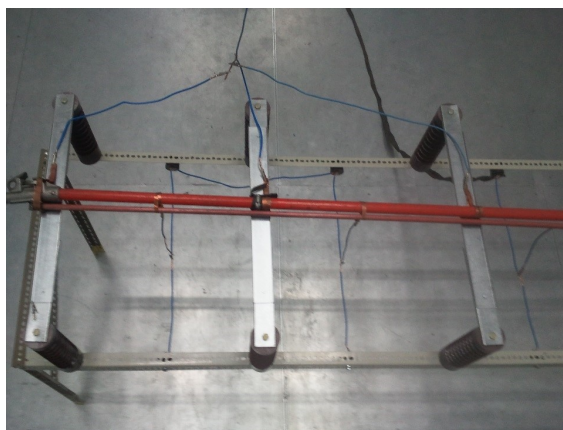


Figura 6.4: Aspecto final das ligações dos electrodos.

De salientar, mais uma vez, que para um correto ensaio do equipamento em questão existe a necessidade de ser aplicado um elétrodo de tensão na extremidade metálica do equipamento.

A quarta etapa deste processo é realizada antes da aplicação da tensão ao equipamento a ser ensaiado. Esta etapa consiste na medição da temperatura da vara, por forma a ser possível realizar uma comparação com uma medição que será realizada posteriormente ao ensaio. Esta medição foi efetuada com recurso a uma câmara termográfica e obteve-se a imagem térmica visível na figura 6.5.



Figura 6.5: Imagem térmica do equipamento antes do ensaio.

Através da visualização da imagem termográfica, verifica-se que a vara se encontra a uma temperatura de aproximadamente 22.2°C.

A quinta etapa consiste na realização do ensaio, onde seria necessário aplicar uma tensão de 100kV, no entanto, torna-se necessário realizar o acerto deste valor de tensão devido às condições

atmosféricas que no momento da realização deste ensaio apresentava os seguintes parâmetros:

- **Temperatura de referência:** $t_0 = 18^\circ\text{C}$
- **Pressão atmosférica absoluta:** $p_0 = 1007 \text{ mbar}$
- **Humidade absoluta:** $h_0 = 8.65 \text{ g/m}^3$

Tendo em conta estes parâmetros e aplicando os fatores de correção descritos anteriormente obtém-se um valor de tensão de 103kV. Este ensaio teve a duração de 60 segundos, tal como estipulado normativamente. Durante o período de duração do ensaio não foram verificados contornos.

Na última etapa, efetuou-se a medição da temperatura, num período de tempo não superior a 2 minutos em relação ao término da aplicação da tensão. Desta medição verificou-se que a temperatura se manteve inalterada.

Da análise dos resultados obtidos, verifica-se que o equipamento em questão tem o seu ensaio dielétrico aprovado e, desta forma, mantém as suas características isolantes intactas.

6.3 Ensaio dielétrico em protetores rígidos

A validação dos ensaios dielétricos para os protetores rígidos foi realizada através do ensaio de dois protetores de condutor com uma classe de isolamento de nível quatro. Estes protetores são visíveis na figura 6.6.



Figura 6.6: Protetores sujeitos a ensaio.

Para a realização deste ensaio foi necessário numa primeira etapa elaborar o esquema de ensaio. Assim sendo, simulou-se uma linha no LAT, de forma a recriar o ambiente real de utilização destes dispositivos. O diâmetro utilizado para eletrodo, isto é, o diâmetro do cabo selecionado foi de 22mm. Esta opção foi tomada uma vez que recria o ambiente mais comum nas linhas elétricas existentes em Portugal.

Desta forma, para recriar a linha utilizou-se um cabo nu de alumínio com duas cadeias de amarração, constituída cada uma delas por dois isoladores, em cada uma das extremidades. Uma das extremidades encontra-se aplicada à própria parede do LAT e a outra extremidade a uma estrutura de dexion já existente.

A etapa seguinte consiste na instalação dos protetores no condutor. Nesta instalação, deve ter-se especial atenção ao facto de que os protetores devem estar acoplados e devem ser trancados através dos fechos existentes na sua base. Outro aspeto a ter em conta consiste na necessidade de cumprir as indicações normativas, as quais exigem que exista 15cm de condutor após o término do protetor. A montagem pode ser visualizada na figura 6.7.

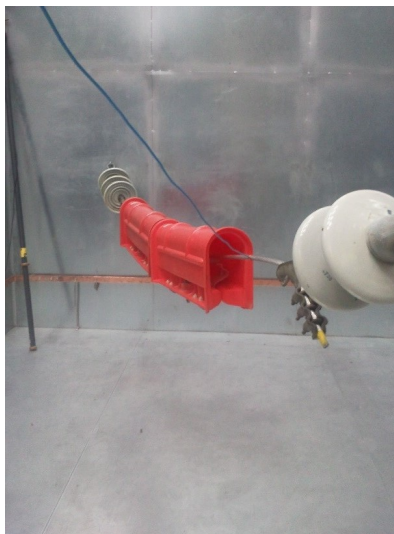


Figura 6.7: Promenor do condutor fora do protetor.

Relativamente ao eléctrodo de terra, isto é, a ligação à terra do objeto de ensaio, a sua aplicação consiste na ligação do anel de pressão existente em cada um dos protetores à terra. Esta ligação é possível, uma vez que este anel de pressão é constituído por uma liga metálica, ou seja, por um material condutor e, encontra-se na superfície que é isolada pelo material que constitui o protetor. A alimentação deste esquema de ensaio é realizada através de uma ligação entre a saída do transformador e o condutor. O aspeto da montagem final é visível na figura 6.8.

Após a verificação da montagem, foi então possível passar à etapa seguinte, que consistiu na aplicação da tensão ao esquema de montagem. Para este tipo de ensaio, a tensão estipulada seria de 40 kV consistente com a classe de equipamento a testar. No entanto, torna-se necessário realizar o acerto deste valor de tensão, devido às condições atmosféricas que no momento da realização deste ensaio apresentava os seguintes parâmetros:

- **Temperatura de referência:** $t_0 = 18^\circ\text{C}$
- **Pressão atmosférica absoluta:** $p_0 = 1007 \text{ mbar}$
- **Humidade absoluta:** $h_0 = 8.65 \text{ g/m}^3$

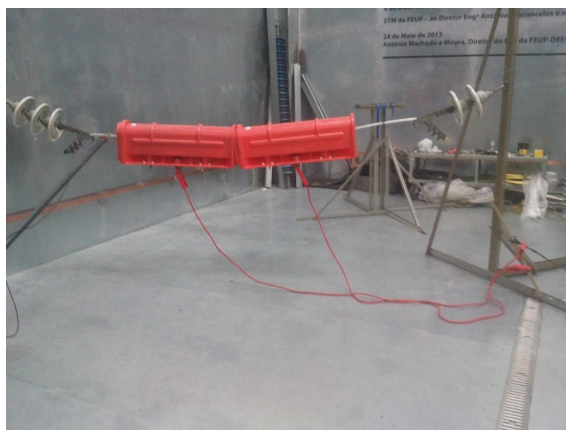


Figura 6.8: Aspecto da montagem final utilizada para o ensaio dos protetores.

Portanto, a partir da aplicação dos fatores de correção do valor de tensão, foi obtido o valor de 41,5 kV. O ensaio teve a duração de 60 segundos no qual durante este período não foram visíveis sinais de contornamento.

A inspeção visual realizada após o ensaio não detetou sinais de perfurações causadas pelo ensaio. Desta forma, considera-se que o equipamento se encontra conforme, uma vez que ultrapassou o ensaio dielétrico.

6.4 Ensaio dielétrico de mantas isolantes

Para a realização da validação dos ensaios no LAT, foi utilizada uma manta com um isolamento de classe quatro, sendo esta visível na figura 6.9.



Figura 6.9: Manta isolante utilizada para validação do ensaio.

Como primeira etapa da implementação deste tipo de ensaio, foi necessário criar os elétrodos para a realização deste. A criação destes elétrodos teve como ponderação principal o requisito máximo de distância entre elétrodos. Desta forma, optou-se por criar dois elétrodos com 800

milímetros de lado, sendo que numa das extremidades existe uma secção extra onde é possível realizar as conexões, isto é, a alimentação vinda do transformador e a manga de terra. Para a elaboração destes elétrodos foram utilizadas duas chapas de alumínio com uma espessura de dois milímetros.

Na segunda etapa realizou-se o circuito de ensaio, visível na figura 6.10. Por razões de segurança, optou-se por colocar a estrutura de ensaio em cima de 5 isoladores de forma a realizar um isolamento em relação às restantes estruturas existentes no LAT.

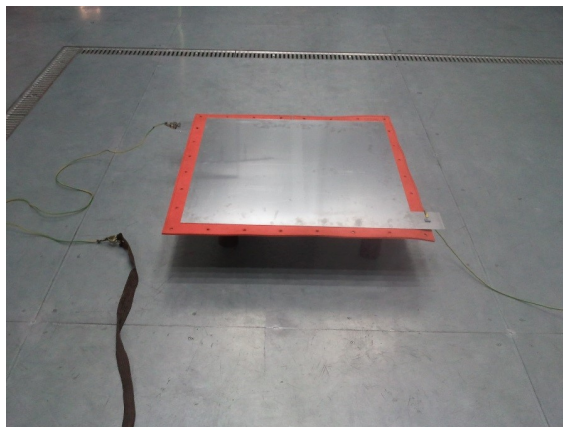


Figura 6.10: Esquema final de ensaio da manta isolante.

Na terceira etapa, aplicou-se a tensão estipulada para este tipo de equipamento, sendo esta tensão de 40kV. No entanto, torna-se mais uma vez necessário realizar o acerto deste valor de tensão devido às condições atmosféricas que no momento da realização deste ensaio apresentava os seguintes parâmetros:

- **Temperatura de referência:** $t_0 = 18^\circ\text{C}$
- **Pressão atmosférica absoluta:** $p_0 = 1007 \text{ mbar}$
- **Humidade absoluta:** $h_0 = 8.65 \text{ g/m}^3$

Da aplicação do método de correção para o valor de tensão a aplicar foi obtido o valor de 41.5kV. O ensaio decorreu durante os 60 segundos estipulados e após o término deste foi realizada a inspeção visual do equipamento. Não foram verificados sinais de perfurações no material isolante, o que valida o equipamento no que diz respeito ao seu ensaio dielétrico.

6.5 Ensaio dielétrico de luvas isolantes

Para a implementação dos ensaios dielétricos deste grupo de equipamento de utilização nos TET, recorreu-se a uma luva isolante de classe 2 com um comprimento de 360mm.

A primeira etapa consistiu na criação da estrutura isolante que irá realizar o suporte das luvas, bem como a ligação entre o elétrodo de ensaio e a alimentação do transformador. A estrutura final

de ensaio, figura 6.11, foi elaborada com recurso a travessas de dexion e, como estas são constituídas por um material condutor, foi necessário recorrer à utilização de isoladores, por forma a efetuar o isolamento das partes fundamentais. Assim, foram utilizados 5 isoladores, todos compostos por araldite. O isolador com características mais específicas trata-se do isolador onde é efetuada a ligação entre o eletrodo que será inserido no interior da luva e a alimentação da tensão de saída do transformador. Este isolador foi selecionado por forma a permitir o isolamento de tensões que poderão variar entre os 2.5kV e os 40kV, consoante a classe de luva que se pretende ensaiar. Os restantes isoladores são idênticos aos utilizados para a fixação do barramento do LAT. Estes realizam o isolamento entre a estrutura principal e a estrutura que efetua a suspensão da luva. Estes eletrodos são visíveis na figura 6.11, onde se atribui o nome de isolador principal ao que efetua o suporte dos eletrodos e de isoladores auxiliares os que efetuam o isolamento da estrutura principal em relação à de suporte.

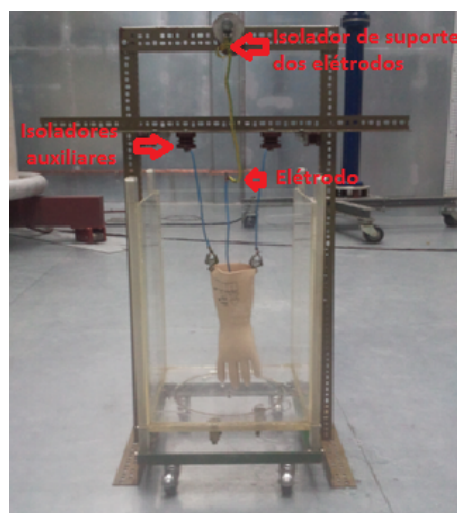


Figura 6.11: Esquema final de ensaio da luva isolante.

A cuba onde a luva é inserida foi fabricada em acrílico, por forma a ser uma estrutura isolada, existindo apenas um ponto no centro da sua base onde é inserida a terra do esquema de ensaio. Este ponto é também utilizado para realizar a medição da corrente de fuga, uma vez que o transformador permite efetuar essa medição.

Na segunda etapa, realiza-se o enchimento da cuba com água, bem como o interior da luva para que os níveis externo e interno sejam iguais, isto é, que o nível de água existente no exterior da luva esteja ao mesmo nível do existente no seu interior. De salientar, que é necessário ter atenção ao nível da água de forma a que seja cumprido o nível máximo deste. O nível máximo compreende-se pelo comprimento de luva que não se encontra submerso. Este valor é indicado na tabela 4.6 em função da classe de isolamento da luva, sendo que neste caso o comprimento não submerso será de 6 cm.

A terceira etapa consiste na inserção do eletrodo no interior da luva. O eletrodo tem a forma cilíndrica por forma a realizar uma uniformização do campo elétrico, visível na figura 6.12



Figura 6.12: Promenor do elétrodo submerso em água no interior da luva.

Na quarta etapa, é aplicada a tensão estipulada para este caso de teste, sendo este valor de 20kV. No entanto, torna-se mais uma vez necessário, realizar o acerto deste valor de tensão devido às condições atmosféricas, que no momento da realização deste ensaio apresentava os seguintes parâmetros:

- **Temperatura de referência:** $t_0 = 19^\circ\text{C}$
- **Pressão atmosférica absoluta:** $p_0 = 1007 \text{ mbar}$
- **Humidade absoluta:** $h_0 = 11.52 \text{ g/m}^3$

Desta forma e aplicando os critérios de correção descritos anteriormente foi obtido o valor de 19kV. O ensaio decorreu durante 60 segundos por forma a cumprir os requisitos normativos sendo que o valor da corrente de fuga observada foi de 0mA.

6.6 Ensaio dielétrico escada isolante

Para a elaboração do ensaio dielétrico para este tipo de equipamento no LAT foi utilizada uma escada isolante com ganchos. O ensaio dielétrico encontra-se dividido em seis etapas.

De notar que o ensaio para uma escada isolante envolve o ensaio individual de cada um dos seus patamares. Desta forma, para a descrição das etapas do ensaio recorre-se apenas ao ensaio de um dos patamares, nomeadamente o terceiro, sendo no final apresentado os valores obtidos para os diferentes patamares.

A primeira etapa para a concretização deste ensaio consistiu na criação de dois elétrodos necessários para a realização do teste. Desta forma, produziram-se dois elétrodos formados por tiras de cobre com uma largura de 5cm, sendo esta a medida indicada pela norma que rege o ensaio para este tipo de equipamento, e uma espessura de 1.5 mm. O formato deste elétrodo é visível na figura 6.13.



Figura 6.13: Formato dos eléktodos.

Na segunda etapa, aplicaram-se os eléktodos ao equipamento em teste. Neste processo é necessário colocar os eléktodos em patamares consecutivos, tal como descrito no subcapítulo 4.7. De salientar que no patamar superior é colocado o eléktrodo onde será aplicada a tensão e no patamar inferior o eléktrodo ligado à terra, figura 6.14.

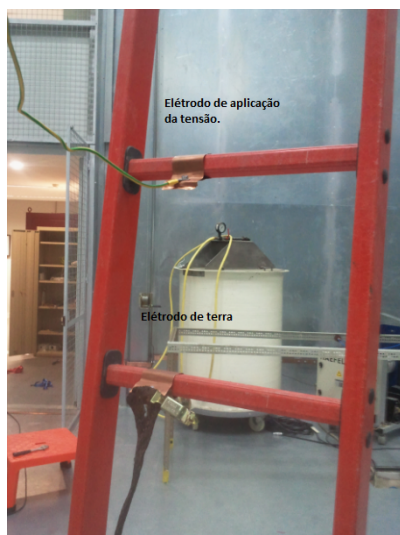


Figura 6.14: Aplicação dos eléktodos no equipamento.

Na terceira etapa elaboraram-se as restantes ligações do esquema de ensaio, nomeadamente as ligações do cabo de alimentação de tensão e da manga a cada um dos eléktodos eléktrodo. De salientar que, no que diz respeito à manga de terra, esta é aplicada ao barramento de terra do transformador para que todas as terras existentes no esquema de ensaio se encontrem aplicadas no mesmo ponto do barramento do LAT. Este facto é válido, uma vez que o barramento de terra existente no transformador, que tem aplicado nele a própria terra de proteção do transformador e a terra do divisor de tensão, encontra-se ligado ao barramento do LAT. Conforme a figura 6.15.

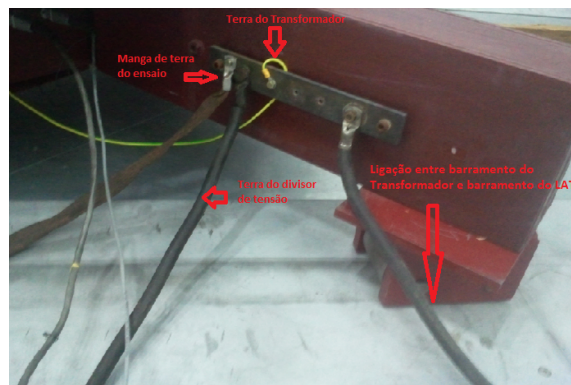


Figura 6.15: Aplicação das terras ao barramento do transformador.

A quarta etapa consiste na medição da temperatura do equipamento no instante antes da aplicação da tensão, para tal é utilizada uma câmara termográfica. Neste caso, a imagem termográfica obtida foi a que se apresenta na figura 6.16.

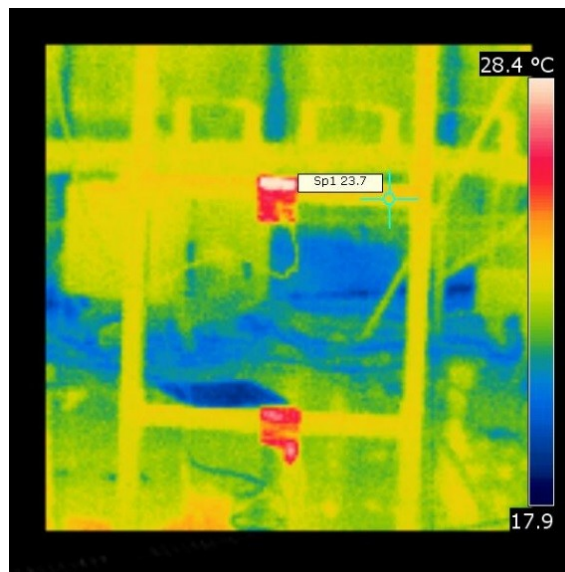


Figura 6.16: Imagem termográfica obtida antes do ensaio.

Da análise da imagem termográfica do patamar em estudo, verifica-se que a temperatura deste ronda os 23.7 °C.

A quinta etapa passa pela aplicação da tensão ao equipamento. Neste caso específico, e como se trata de uma escada isolante com ganchos, na fórmula que nos indica a tensão a aplicar (4.9), devemos atribuir o valor de 100kV ao parâmetro U_0 . Neste equipamento a distância entre patamares é de 105mm. Assim, o valor de tensão a aplicar é o seguinte:

$$U_m = 35kV \quad (6.3)$$

No entanto, torna-se mais uma vez necessário realizar o acerto deste valor de tensão devido às condições atmosféricas, que no momento da realização deste ensaio apresentavam os seguintes parâmetros:

- **Temperatura de referência:** $t_0 = 19^\circ\text{C}$
- **Pressão atmosférica absoluta:** $p_0 = 1007 \text{ mbar}$
- **Humidade absoluta:** $h_0 = 11.52 \text{ g/m}^3$

O valor obtido através dos fatores corretivos da tensão foi de 34kV. Após a obtenção deste valor é então realizado o ensaio, que terá a duração de 60 segundos. A cronometragem do ensaio só é iniciada após atingir o valor estipulado de tensão para o ensaio. Para este patamar foi obtida uma corrente de fuga na ordem dos 10mA. Nesta etapa é também necessário verificar a ocorrência ou não de contornamentos entre os “andares” durante o período de aplicação da tensão. Neste caso específico da análise do terceiro patamar não se verificaram contornamentos.

A última etapa do ensaio, ou seja, na sexta etapa, realiza-se uma nova medição da temperatura do patamar em ensaio, bem como a inspeção visual, para analisar possíveis perfurações que tenham ocorrido durante o teste.

A imagem termográfica que foi obtida imediatamente após o término do ensaio, de forma a que a temperatura fosse medida dentro do período de tempo permitido, normativamente após o fim da aplicação da tensão, figura 6.17

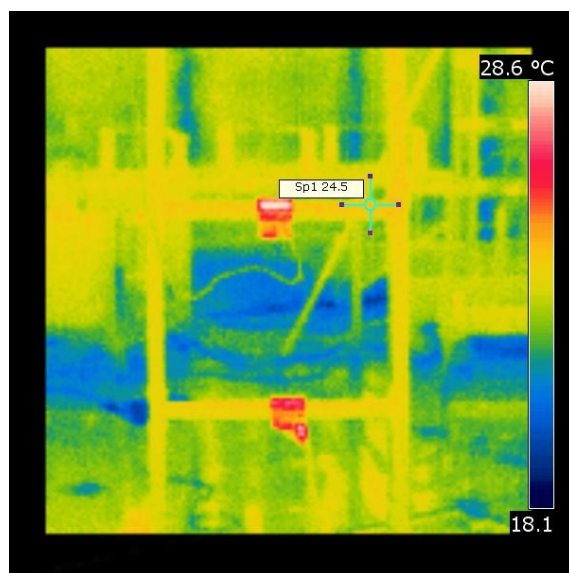


Figura 6.17: Imagem termográfica obtida após o ensaio.

Da análise da imagem, podemos verificar que para o mesmo ponto ocorreu um ligeiro aumento da temperatura, mais concretamente 0.8°C . Apesar da ocorrência desta variação de temperatura, esta encontra-se longe do limite máximo de 2°C , imposto como critério de aprovação do equipamento. De salientar que a análise foi efetuada para diversos pontos do patamar, tanto no instante

anterior ao ensaio como no posterior, sendo que os valores detalhados são os que apresentavam uma variação mais acentuada da temperatura e, desta forma, seriam os pontos mais suscetíveis.

Relativamente à inspeção visual, não foi verificado o aparecimento de perfurações no material isolante decorrente do ensaio.

Na tabela 6.5 são apresentados os restantes valores para os diferentes patamares.

Patamar nº	Temperatura inicial	Ocorrência de contornamento	Corrente de fuga (mA)	Temperatura final	Existência de perfurações
1	23.6	Negativo	10	24.2	Negativo
2	23.8	Negativo	11	24.1	Negativo
4	23.7	Negativo	10	24	Negativo
5	23.7	Negativo	12	23.9	Negativo

Tabela 6.5: Resultado dos ensaios para os diferentes patamares.

Da análise dos resultados dos diferentes ensaios aos diferentes patamares da escada, podemos afirmar que num ensaio de rotina deste equipamento TET, no que diz respeito ao ensaio dielétrico, este equipamento seria aprovado uma vez que cumpre todos os parâmetros estabelecidos para o efeito.

6.7 Resumo

Neste capítulo, foram descritos os procedimentos tomados no LAT-FEUP, com o objetivo implementar os ensaios dielétricos necessários para as inspeções periódicas. O resultado deste conjunto final de esquemas de ensaio passou por várias fases, ou seja, foi sujeito a ensaios teste por forma a obter-se o esquema ideal de ensaio.

Relativamente aos resultados obtidos nos diferentes ensaios, podemos concluir que foram satisfatórios. Apesar da não ocorrência de nenhuma não conformidade, isto é, de nenhum equipamento ter tido o seu ensaio dielétrico chumbado, os fenómenos ocorridos durante os diferentes ensaios confirmaram os fenómenos espectáveis.

Neste capítulo não foi realizado o ensaio os curto-circuitadores. Este ensaio dielétrico não foi realizado devido à impossibilidade de obter a informação normativa, necessária para uma correta realização do ensaio.

Capítulo 7

Conclusão

Neste capítulo apresentam-se numa primeira parte as conclusões e as considerações finais da presente dissertação e numa segunda parte são apresentadas possibilidades de trabalhos futuros.

7.1 Considerações finais

A presente dissertação teve como objetivo principal a realização dos ensaios dielétricos em equipamento para trabalhos em tensão, estando estes inseridos nas inspeções periódicas a que os equipamentos para TET estão sujeitos. No entanto, tornou-se fundamental efetuar um estudo detalhado dos conhecimentos técnicos necessários para a realização destes trabalhos. A finalidade deste estudo passa pela necessidade de contextualizar a utilização dos equipamentos em causa e, desta forma, entender os esforços aos quais estão sujeitos.

Os trabalhos em tensão podem ser efetuados nos diferentes patamares de tensão, isto é, são realizados em instalações de baixa, média e alta tensão. Verifica-se que para a realização dos TET existem quatro métodos possíveis, nomeadamente: os trabalhos ao mesmo potencial; ao contacto; à distância e o método global. O método à distância está indicado para trabalhos em redes Média e Alta Tensão. O método ao mesmo potencial é indicado para trabalhos em redes de Média, Alta e Muito Alta tensão. O método ao contacto é indicado para redes de Baixa e Média tensão, sendo que na gama de MT deve estar restringido a tensões máximas de 35kV. Salienta-se o facto de que os trabalhos em tensão apresentam um risco elétrico elevado. São realizados por equipas técnicas altamente especializadas e disciplinadas, isto é, com hierarquias rigorosamente estipuladas estando em constante comunicação com o responsável de exploração da rede.

Relativamente aos equipamentos para os TET, a análise realizada permitiu selecionar os equipamentos que se encontram sujeitos a inspeções periódicas. No entanto, esta seleção teve em conta as necessidades existentes por parte da indústria local, uma vez que o objetivo do LAT passa por fornecer serviços para estas entidades. Desta forma, os equipamentos foram divididos em 7 grupos, sendo eles: as varas; os tirantes; os protetores; as mantas isolantes; os curto-circuitadores; as escadas e as luvas isolantes. A análise efetuada trata-se de uma análise técnica da utilidade dos equipamentos, assim como uma análise ao nível da sua constituição.

Estes equipamentos apresentam periodicidades de inspeção que variam consoante a sua categoria. Desta forma, as varas e os tirantes devem ser submetidos a inspeção com uma periodicidade de 24 meses. Por seu lado, os protetores, as mantas isolantes, os curto-circuitadores e as escadas isolantes têm uma periodicidade de inspeção de 12 meses e, finalmente, as luvas isolantes apresentam uma periodicidade de inspeção de 6 meses.

As inspeções periódicas a que este equipamento está sujeito estão divididas em duas etapas. A primeira etapa consiste numa inspeção visual onde se verifica a existência ou não de inconformidades no material que proporciona o isolamento, bem como inconformidades existentes nas ferramentas que incorporam os diferentes equipamentos. A segunda etapa passa pela realização de ensaios dielétricos que são estipulados pelas diferentes normas que regem o fabrico dos diferentes equipamentos, bem como a norma IEC 60060 que regula os parâmetros existentes em ensaios de Alta Tensão. Estes ensaios, tratando-se de ensaios dielétricos com o objetivo de verificar a estabilidade do isolamento, têm a duração de 60 segundos contrariamente aos ensaios de validação do fabrico que têm a duração de três minutos.

Para além desta análise técnica, no decorrer da dissertação efetuou-se o acompanhamento das obras do LAT, tendo em especial atenção as questões de segurança necessárias numa instalação deste tipo. As medidas de segurança planificadas consistem em medidas passivas e ativas que proporcionam segurança no decorrer do ensaio e que protegem os utilizadores do LAT de efetuarem possíveis ações que os coloquem em risco. Nesta etapa da dissertação foi também efetuada a montagem e a colocação em serviço dos equipamentos, nomeadamente o equipamento que proporciona a capacidade de realização dos ensaios à frequência industrial, isto é, o transformador da marca Phenix que apresenta uma tensão de saída máxima de 600kV e o respetivo divisor de tensão. O outro equipamento que foi alvo de intervenção, trata-se de um gerador de choque capaz de produzir uma tensão máxima de 1200kV e o respetivo divisor de tensão.

Após ultrapassada a colocação em serviço foram efetuados ensaios por forma a verificar a calibração do transformador recorrendo a esferas de calibração. Nestes ensaios foi possível verificar que a calibração do transformador se encontra dentro dos parâmetros exigidos, apresentando um desvio percentual, em relação à tensão estipulada, inferior a 3%.

Dado o resultado da verificação da calibração tornou-se então viável implementar os diferentes ensaios dielétricos. Assim, foram criadas as estruturas necessárias para a montagem dos diferentes circuitos de teste. Uma das grandes objeções passou pela impossibilidade da utilização de estruturas isolantes. No entanto, este problema foi ultrapassado através da criação das diferentes estruturas de forma integral em material dexion, sendo as partes obrigatoriamente isolantes promovidas a esta categoria, através da utilização de isoladores que cumpram os critérios de tensão a que serão sujeitos nos respetivos ensaios.

Foi possível efetuar a implementação dos ensaios para as diferentes categorias, com exceção dos curto-circuitadores, em que a informação obtida foi insuficiente de forma a considerar que o ensaio a realizar cumpriria os requisitos normativos. Para a implementação foi utilizado um equipamento de cada um dos diferentes grupos de isolamento. Para o grupo de ensaios das varas e dos tirantes foi utilizada uma vara de grampo. No caso dos protetores foram utilizados dois proteto-

res de condutor para validar a implementação do respetivo esquema de ensaio. Relativamente ao grupo das mantas isolantes foi utilizada uma manta com uma classe de isolamento de nível quatro. Para o grupo das luvas foi utilizada uma luva com classe de isolamento nível dois e um comprimento de $360mm$. Por fim, para a implementação dos ensaios nas escadas isolantes foi utilizada uma escada isolante com ganchos.

Nos diferentes ensaios dielétricos que foram realizados, todos os equipamentos ultrapassaram com sucesso os diferentes critérios de validação do ensaio.

7.2 Trabalhos Futuros.

Relativamente a trabalhos futuros nesta área de desenvolvimento, estes poderão passar pela realização dos diferentes ensaios dielétricos utilizando para tal as diversas tipologias que constituem os grupos de equipamentos existentes.

Outro estudo passível de realização passa pela elaboração de uma memória descritiva, com uma grande ênfase visual relativamente aos critérios de inspeções visual. Tendo em conta a descrição dos aspetos que levariam à reprovação dos equipamentos neste tipo inspeção. Outra possibilidade seria a realização de uma memória descritiva, com uma grande ênfase visual relativamente aos critérios de não aprovação nos ensaios dielétricos.

Por fim, e não menos importante, passaria pela realização de um estudo mais específico dos ensaios dielétricos referentes aos curto-circuitadores, visto que este ensaio não foi validado no LAT. Este equipamento apresenta características diferentes dos restantes, uma vez que o seu constituinte principal é um cabo que poderá ser de cobre multifilar ou alumínio.

Anexo A

Tabela com a relação entre as distância entre esferas em função da tensão

Sphere-gap spacing cm	Sphere diameter cm											
	2	5	6,25	10	12,5	15	25	50	75	100	150	200
6,5				(144)	(154)	161	173	177	177	177		
7,0				(150)	(161)	169	184	189	190	190		
7,5				(155)	(168)	177	195	202	203	203		
8,0					(174)	(185)	206	214	215	215		
9,0					(185)	(198)	226	239	240	241		
10					(195)	(209)	244	263	265	266	266	266
11						(219)	261	266	290	292	292	292
12						(229)	275	309	315	318	318	318
13							(289)	331	339	342	342	342
14							(302)	353	363	366	366	366
15							(314)	373	387	390	390	390
16							(326)	392	410	414	414	414
17							(337)	411	432	438	438	438
18							(347)	429	453	462	462	462
19							(357)	445	473	486	486	486
20							(366)	460	492	510	510	510
22								489	530	555	560	560
24								515	565	595	610	610
26								(540)	600	635	655	660
28								(565)	635	675	700	705
30								(585)	665	710	745	750
32								(605)	695	745	790	795
34								(625)	725	780	835	840
36								(640)	750	815	875	885
38								(655)	(775)	845	915	930
40								(670)	(800)	875	955	975
45									(850)	945	1050	1080
50									(895)	1010	1130	1180
55									(935)	(1060)	1210	1260
60									(970)	(1110)	1280	1340
65										(1160)	1340	1410
70										(1200)	1390	1480

Figura A.1: Tabela com a relação entre as distância entre esferas em função da tensão.[42]

Referências

- [1] KOBBECCO. What is live-line working? URL: http://www.kobbeco.com/en/applications/live-line_work.asp [último acesso em 2012-02-20].
- [2] José Pascoal e Mende Nuno e Gome Paulo Antunes, Amorim e Soares. Live working in medium voltage overhead lines - better performance due to a good project. 2006.
- [3] Lu Shouyin, Li Yanping, e Qi Wei. Robotic live-working for electric power lines maintenances. Em *Industrial Electronics and Applications, 2009. ICIEA 2009. 4th IEEE Conference on*, páginas 1716–1719. IEEE, 2009.
- [4] EDP. Título de habilitação. URL: <http://www.edpdistribuicao.pt/pt/profissionais/seguranca/competencias/atribuicaoTitulodeHabilitacao/Pages/atribuicaoTitulodeHabilitacao.asp> [último acesso em 2012-02-20].
- [5] EDP. Regime especial de exploração, 2002. CET 111-MT-MG.
- [6] EDP. Traçados de linhas mt, 2003. RP – 01 – MT.
- [7] EDP. Disposição de condutores, 2003. RP – 02 – MT.
- [8] EDP. Condições atmosféricas e visibilidade na zona de trabalhos, 2002. CET-123 –MT-MG.
- [9] José A Ascensão Gaspar. Os trabalhos em tensão nas empresas portuguesas de transporte e distribuição de eletricidade grupo edp. EDP – Eletricidade de Portugal.
- [10] EDP. Terminologia, Maio 2002. DCE-C18-526.
- [11] EDP. Distancias a respeitar pelo executante, Maio 2007. CET 211 – MT – A/D.
- [12] EDP. Trabalhos em tensão- limpeza de instalações elétricas ate 30kv, Julho 2005. DCE-C18-524/N.
- [13] EDP. Subida accidental do potencial dos apoios e das armações, Maio 2002. CET 231 - MT – MG.
- [14] ISO/IEC. *Live working - Insulating sticks and attacheble devices - Insulating sticks*. IEC 60832-1, first edição, 2010.
- [15] EDP. Vara para fixação de condutor, Dezembro 2007. FT 01 - MT - A/D.
- [16] EDP. Trabalhos em tensão, média tensão e alta tensão - método à distância, Fevereiro 2009. DFT-C18-325/N.

- [17] EDP. Vara de gancho, Dezembro 2007. FT 02 - MT - A/D.
- [18] EDP. Vara com terminais universais, Dezembro 2007. FT 0 - MT - A/D.
- [19] EDP. Vara para fileiras, Dezembro 2007. FT 04 - MT - A/D.
- [20] EDP. Vara com grampo, Dezembro 2007. FT 05 - MT - A/D.
- [21] EDP. Vara corta-cabos, Dezembro 2007. FT 08A - MT - A/D.
- [22] EDP. Vara corta-fileiras, Dezembro 2007. FT 08C - MT - A/D.
- [23] EDP. Vara porta-chaves de caixa com Ângulo variável, Dezembro 2007. FT 09 - MT - A/D.
- [24] EDP. Tirante com grampo, Dezembro 2007. FT 24 - AT - A/D.
- [25] EDP. Tirante com rolete, Dezembro 2007. FT 23 - AT - A/D.
- [26] EDP. Tirante de amarração, Dezembro 2007. FT 19 - MT - A/D.
- [27] EDP. Tirante de amarração simétrico, Dezembro 2007. FT 20 - MT - A/D.
- [28] ISO/IEC. *Rigid protective cover for live working on a.c. installations*. IEC 61229, 1.2 edição, 2002.
- [29] EDP. Protector de condutor, Dezembro 2007. FT 40 - MT - A/D.
- [30] EDP. Protector de isolador rígido, Dezembro 2007. FT 41 - MT - A/D.
- [31] EDP. Protector de cadeia de suspensão, Dezembro 2007. FT 43 - MT - A/D.
- [32] EDP. Protector de cadeia de amarração, Dezembro 2007. FT 45 - MT - A/D.
- [33] EDP. Protector de pinça de amarração, Dezembro 2007. FT 44 - MT - A/D.
- [34] ISO/IEC. *Live working - Electrical insulating blankets*. IEC 61112, 2 edição, 2009.
- [35] EDP. Manta isolante 3 mm, Dezembro 2007. FT 50 - MT - A/D.
- [36] EDP. Curto-circuitador em cabo com isolamento seco, Dezembro 2007. FT 88 - MT - A/D.
- [37] ISO/IEC. *Live working - Gloves of insulating material*. IEC 60903, second edição, 2002.
- [38] ISO/IEC. *Live working - Ladders of insulating material*. IEC 61478, first edição, 2001.
- [39] EDP. Escada de elementos de encaixar, Dezembro 2007. FT 73 - MT - A/D.
- [40] EDP. Escada isolante com ganchos, Dezembro 2007. FT 73A - AT - A/D.
- [41] ISO/IEC. *High voltage test techniques Part 1: General Definitions and Test Requirements*. IEC 60060-1, third edição, 2010.
- [42] ISO/IEC. *Voltage measurement by means of standard air gaps*. IEC 60052, third edição, 2002.